



T
628.354
ESPC

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Cálculo y Diseño de un Biodigestor para Excretas de Cerdos"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Presentada por:

Giovanny Marcelo Espinosa De la Torre

GAUYAQUIL – ECUADOR

Año: 2002



AGRADECIMIENTO

Le agradezco principalmente a Dios por haberme permitido cumplir una de mis metas propuestas, a mis padres por su apoyo incondicional, a mi Director de Tesis, el Ing. Marcelo Espinosa, mi padre, gracias por su invaluable ayuda; a mi esposa Jessica Espinosa por toda las horas que dedicó para ayudarme, y a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA



A DIOS

A MIS PADRES

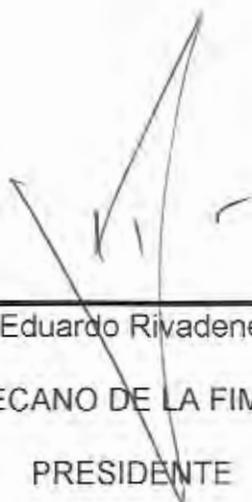
A MIS HERMANOS

A MI ESPOSA

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

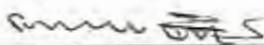
TRIBUNAL DE GRADUACION



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Marcelo Espinosa L.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL



Dr. Jorge Rosero B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



Giovanny Marcelo Espinosa De la Torre

RESUMEN

En la presente tesis se plantea el trabajo de diseño de un biodigestor y se destaca algunos beneficios y ventajas de su uso en lugares que tienen una alta producción de excretas, por animales en fincas de escala comercial.

Entre los beneficios que más se destacan están los económicos, la protección del medio ambiente, la generación de biogas y biofertilizantes; también, se hace un análisis del impacto al medio ambiente y el control de contaminación.

Para ayudar en la toma de decisión, de cuál será el modelo mas apropiado para el diseño, se hace un análisis de los modelos de mayor empleo para finalmente seleccionar un modelo que garantice su eficiencia.

En el desarrollo de la Tesis se analizan los principios biológicos de generación de gas metano y se explica el trabajo de las bacterias en una atmósfera anaeróbica. Adicionalmente, se exponen algunas ventajas y desventajas en el uso del biogas.

Teniendo los argumentos necesarios, se procede a efectuar los cálculos de carga y diseño del biodigestor para trabajar con un plantel porcino compuesto por veinticinco cerdas y dos reproductores, con una capacidad de reproducción de dos y medio veces al año con partos promedio de diez lechones por camada. También se hacen los cálculos pormenorizados de los diferentes componentes del biodigestor y se hace un cuadro resumen de todos los materiales demandados en el proyecto y se plantean los planos del diseño.

La evaluación económica del biodigestor nos permite establecer que el proyecto tiene un VAN mayor a cero y un TIR mayor a la tasa de descuento del 10% que ofrece la ESPOL en prestamos para desarrollo de proyectos en el Campus Daule.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGIA.....	XII
INDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XIV
INDICE DE PLANOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. BENEFICIOS DE UN BIODIGESTOR.....	4

1.1.	La tecnología del biogas frente a algunos problemas del país...	5
1.2.	Control de contaminación.....	15
1.3.	Principios de generación de Biogas.....	21
1.4.	Generadores usados en la producción de Biogas y Bioabono.	30
1.5.	Mejoramiento económico de las familias que adopta el sistema de Biogas.....	46

CAPITULO 2

2. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y SUS USOS POTENCIALES 54

2.1.	Fermentación anaeróbica.....	55
2.2.	El cieno de fermentación como fertilizante.....	61
2.3.	Como trabaja el biodigestor.....	70
2.4.	El biogas, su utilización.....	72
2.5.	Ventajas y desventajas del biogas.....	77

CAPITULO 3

3. CALCULO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EXCRETAS DE CERDOS.....	82
3.1. Evaluación de materia prima para el biodigestor.....	82
3.2. Factores que afectan el diseño y producción de un biodigestor.....	88
3.3. Cálculos de consumo, de los productos y subproductos generados en un Biodigestor.....	103
3.4. Cálculos de carga.....	127
3.5. Recomendaciones para una buena operación y funcionamiento de un biodigestor.....	137
3.6. Diseño propuesto.....	140
3.7. Operación.....	228

CAPITULO 4

4. EVALUACIÓN ECONOMICA DEL BIODIGESTOR.....	233
4.1. Evaluación como proyecto.....	233

4.2. Aporte de gas.....	235
4.3. Aporte de Fertilizante.....	236
4.4. Aporte al Medioambiente.....	237
4.5. Evaluación Económica.....	238

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	258
5.1. CONCLUSIONES.....	258
5.2. RECOMENDACIONES.....	260

APENDICES

BINLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

° C	Grados Centígrados
AIA	Ácido Indol Acético
Aprove	Aprovechado
Bhp	Caballo de Fuerza al Freno
C : N; C/N	Relación Carbono Nitrógeno
C ₁	Capacidad de Almacenamiento Requerida
C	Carbono
Ca	Calcio
CCG	Cámara de la Construcción de Guayaquil
C _f	Cieno de Fermentación
CH ₃ COOH	Ácido Acético
CH ₃ OH	Metanol
CH ₄	Metano
CIPAV	Convenio Interinstitucional para la Producción Agropecuaria en el Valle del Río Cauca
Cm/s	Centímetros por Segundo
C.O.	Compuestos Orgánicos
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
D; d	Día
Demanda	Demanda
D _G	Diferencia entre la Producción de Gas y Consumo
E _d	Cantidad de Material de Fermentación
Equil	Equivalente
Fe	Hierro
G	Producción Diaria de Gas
g; gr	Gramos
Gal	Galones
Gal/día	Galones por día

Gas/d	Gas por Día
G _d	Producción específica de gas al día
GTZ	Duetsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH
H, hrs	Horas
H ₂	Hidrógeno
H ₂ S	Ácido Sulfhídrico
HCOOH	Ácido Fórmico
INE	Instituto Nacional de Energía
K	Potasio
K ₂ O	Oxido de Potasio, Potasio Asimilable
Kcal/Kg	Kilocaloría por Kilogramo
Kcal/m ³	Kilocaloría por Metro Cúbico
Kg	Kilogramo
Kg/d	Kilogramos por Día
Kg/m ²	Kilogramo por Metro Cuadrado
Kg/mes	Kilogramo por Mes
Kg/mts ³	Kilogramos por Metro Cúbico
Kg/N/año	Kilogramos de Nitrógeno por Año
Km	Kilómetro
Kwh	Kilowatts por hora
Kwh/mts ³	Kilowatts por hora por metro Cúbico
Kwh/u	Kilowatts por hora por unidad
L/Kg/d	Litros por Kilogramo por Día
Lbs	Libras
Lts/d	Litros por Día
Lts/h	Litros por Hora
Lts/j	Litros por Jules
Lts/Kg	Litros por Kilogramo
Lts;l	Litros
M ³ /d	Metros Cúbicos por Día
M ³ /m ³	Metros Cúbicos por Metros Cúbicos
M ³ /u	Metros Cúbicos por Unidad
Mg	Magnesio
mg/gr	Miligramos sobre Kilogramos

Min	Minuto
MO	Materia Orgánica
MS	Materia Seca
Mts	Metros
Mts ²	Metros Cuadrados
Mts ³ /Kg	Metros Cúbicos por kilogramo
Mts ³ /ton	Metros Cúbicos por Tonelada
Mts ³ , m ³	Metros Cúbicos
N; N ₂	Nitrógeno
Na	Sodio
ng/gr	Nanogramos por Gramo
NH ₃	Amoniaco
O ₂	Oxígeno
ODTS	Síndrome Tóxico de Polvo Orgánico
P	Fósforo
pH	Potencial de Hidrógeno
S	Azufre
T	Temperatura del Digestor
TIR	Tasa Interna de Retorno
Tng	Tangente
TR; RT	Tiempo Técnico de Retención o Fermentación
U	Unidad
VAN	Valor Actual Neto
V _D	Volumen del Digestor
V _D :V _G	Relación Digestor Depósito de Gas
U/m ³	Unidad por Metro Cúbico
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo, Fósforo Asimilable
Veg	Vegetal
Vel	Velocidad
V _G	Dimensión del Depósito de Gas con Recargo de Seguridad
V _G (1)	Volumen Necesario de Almacenamiento de Gas Durante el Tiempo de Consumo

V_G(2)

Dimensión Necesaria para el Depósito de Gas sin
Recargo de Seguridad

Vit

Vitamina

SIMBOLOGÍA

#	Número
α	Ángulo
ϕ	Diámetro
η	Rendimiento
	Válvula
	Pared de Ladrillo
	Hormigón
a	Ancho
A	Área
a{	Altura Menor
h	Altura
H	Altura Máxima; Presión Máxima
L	Lado
R	Radio Mayor
R	Radio Menor
	Roca
ρ	Densidad
π	Pi; 3,1416

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. La Planta de Biogas en La Finca.....	14
Figura 1.2. Planta Balón.....	35
Figura 1.3. Planta con Cúpula Fija.....	38
Figura 1.4. Planta con Cúpula Fija y con Deposito de Gas separado.....	39
Figura 1.5. Partes de una Planta de Cúpula Fija.....	41
Figura 1.6. Planta con Campana Flotante.....	43
Figura 1.7. Partes de la Planta de Campana Flotante.....	44
Figura 1.8. Materia Prima Utilizada para el Cargado de Biodigestores (Biomasa).....	52
Figura 2.1. Proceso de Fermentación Anaerobia.....	60
Figura 2.2. Producción de Biogas, Biol y Biosol; y su Acción sobre las Plantas.....	70
Figura 3.1. Ganancia de Peso (Kg) de Lechones al Destete.....	110
Figura 3.2. Cantidad Diaria de Estiércol Vs Cantidad Diaria de Orina según el Peso del Lechón.....	111
Figura 3.3. Ganancia de Peso (Kg) de Cerdos de Engorde Después del Destete.....	119
Figura 3.4. Cantidad De Estiércol y Orina Generada por los Cerdos De Engorde Después del Destete.....	120
Figura 3.5. Producción de Gas con Estiércol Fresco de Estiércol en Función del Tiempo de Retención y de la Temperatura del Digestor.....	125

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Análisis del Impacto en el Medio Ambiente y Control de Contaminación.....	18
Tabla 2	Relación Carbono: Nitrógeno de Diversos Desechos Disponibles en el Medio Rural.....	30
Tabla 3	Características del Material de Fermentación.....	58
Tabla 4	Bacterias Metanogénicas.....	59
Tabla 5	Composición del Bioabono.....	64
Tabla 6	Composición Química del Biol.....	66
Tabla 7	Composición Química del Biosol.....	67
Tabla 8	Composición del Biosol en Relación al Biol y al Estiércol.....	69
Tabla 9	Valores Promedio del Poder Calorífico de Diferentes Combustibles.....	73
Tabla 10	Composición Química del Biogas.....	74
Tabla 11	Porcentaje de Metano según el Material de Fermentación.....	76
Tabla 12	Relación Materia Prima y Agua.....	85
Tabla 13	Relación Carbono: Nitrógeno de Diversos Desechos.....	88
Tabla 14	Producción de Gas de Varios Tipos de Estiércol.....	96
Tabla 15	Producción de Biogas según los Materiales de Entrada.....	97
Tabla 16	Cálculo de Excretas de Lechones (Nacimiento – Destete).....	108
Tabla 17	Ganancia de Peso Diario y Producción de Excretas en Cerdos de Engorde.....	113
Tabla 18	Cálculos de Carga y Diseño de un Biodigestor.....	135
Tabla 19	Materiales Necesarios para la Construcción del Digestor.....	149
Tabla 20	Materiales Necesarios para la Construcción de la Caja de la Válvula de Seguridad de Gas.....	176
Tabla 21	Materiales Necesarios para la Construcción de la Caja de Carga.....	185

Tabla 22	Materiales Necesarios para la Construcción del Tanque de Compensación y Vaciado.....	193
Tabla 23	Materiales Necesarios para la Construcción de la Tapa del Digestor.....	210
Tabla 24	Materiales Necesarios para la Construcción de la Tapa de la Escotilla del Digestor.....	213
Tabla 25	Materiales Necesarios para la Construcción de las Tapas de los Tanques de Compensación y Vaciado.....	215
Tabla 26	Materiales Necesarios para la Construcción de la Tapa de la Caja de la Válvula de Seguridad de Gas.....	218
Tabla 27	Materiales Necesarios para la Construcción de la Tapa de la Caja de Carga.....	220
Tabla 28	Cantidad de Materiales a Utilizarse en la Construcción del Biodigestor.....	240
Tabla 29	Costos de Materiales.....	241
Tabla 30	Costos de Mano de Obra.....	242
Tabla 31	Costos de Alquiler de Maquinaria y Equipo.....	243
Tabla 32	Inversión Total.....	243
Tabla 33	Resultado Operacional de la Producción de Biogas en un Año.....	249
Tabla 34	Resultado Operacional de la Producción de Biol en un Año.....	252
Tabla 35	Resultado Operacional de la Producción de Biosol en un Año.....	254
Tabla 36	Análisis Económico.....	255
Tabla 37	Flujo de Efectivo a 5 Años.....	257

INDICE DE PLANOS

Lamina N° 1	Corte A. Digestor de Cúpula Fija.
Lamina N° 2	Corte A. Digestor de Cúpula Fija.
Lamina N° 3	Corte A. Digestor de Cúpula Fija.
Lamina N° 4	Planta. Digestor de Cúpula Fija.
Lamina N° 5	Detalle de Tapa. Digestor de Cúpula Fija.

INTRODUCCIÓN

La crisis energética de los años venideros se deberá sin lugar a dudas al agotamiento de los combustibles fósiles no renovables, por lo que habrá que buscar otras alternativas que no afecten al medio ambiente ni tengan una incidencia sobre los recursos forestales.

Una de las tecnologías que puede contribuir a solucionar el problema energético a nivel rural, y que además, permite el reciclaje de residuos orgánicos generados en la producción agropecuaria, es el biodigestor, que en su proceso de transformación de la biomasa nos ofrece gas metano y abonos (bioles y biosoles), que contribuirán no solamente en el ahorro energético y preservación del medio ambiente, sino que también lo harán en un mejoramiento de la producción agrícola, al mejorar la calidad de los nutrientes que van al suelo.

El hecho de utilizar esta tecnología ofrece algunas ventajas a nivel rural, ya que se reduce la presión sobre los combustibles fósiles agotables; también, se reduce la contaminación de las fuentes de agua por las excretas, y se elimina los olores desagradables que estos desechos producen y que son también factores que contribuyen al desequilibrio en el ecosistema.

Las plantas de biogas a nivel rural son simples de operar, por lo que su difusión debe hacérsela extensivamente, para que con su puesta en marcha se logren los beneficios anotados anteriormente.

Las plantas generadoras de biogas en el sector rural, en muchos casos, no han sido diseñadas adecuadamente, y en otros casos la operación y mantenimiento han dejado mucho que desear.

Desde hace unos treinta años se está construyendo plantas sencillas de biogas en países del tercer mundo, por lo que el aprendizaje que nos han dejado estos treinta años de experiencia, nos permiten ahora preparar mejores diseños y aportar con soluciones a viejos problemas que nos permiten optimizar a las plantas de biogas que en su momento adolecieron de algunas falencias. Muchas soluciones se plantean en artículos y libros, pero hay que considerar que cada una de ellas refleja soluciones puntuales y adecuadas a los tipos de materiales con los que se trabaja en cada planta en particular.

El diseñador de una planta de biogas tiene que ser capaz de distinguir cuales son las soluciones realmente viables y adecuadas para el problema planteado. Esta tesis servirá para tal objetivo.

Los números y tablas son datos de referencia para la práctica, y fueron reunidos basándose en otros textos y análisis propios, y conforme a la

experiencia de mi director de tesis fueron simplificados y modificados. No hay que confundirlos con valores de laboratorio.

Pensando en la importancia de la aplicación de tecnologías adecuadas a nuestro medio se ha elaborado este proyecto con el objetivo fundamental de transferir los conceptos básicos de la tecnología del biogas, entendiendo por transferencia la acción de ceder a una persona o grupos de personas, el derecho, dominio o atribución de esta tecnología. También ha de servir como material de apoyo a los técnicos que se dedican a la tarea de capacitar, y a futuros difusores y constructores de unidades productoras del biogas.

También, servirá de foco de motivación para las personas interesadas en conocer los principios básicos en los que se fundamenta la tecnología, mismos que eventualmente pueden convertirse en usuarios.

Esta tesis pretende ser un documento propiciador de inquietudes, pero en especial un material de discusión y generador de ideas en los eventos que se realicen alrededor del tema.



CAPITULO 1

1. BENEFICIOS DE UN BIODIGESTOR.

Un Biodigestor representa una alternativa de solución para resolver a nivel de haciendas rurales, la falta de energía para calefacción, iluminación y cocción de los alimentos. En un momento dado parecería que el Biogas no es una solución en el sector rural. Pero si nos detenemos a hacer un análisis encontraríamos beneficios que los podemos resumir en los siguientes puntos:

- ❖ Beneficios económicos.
- ❖ Control de contaminación y preservación del medioambiente.
- ❖ Generación de Biogas; y
- ❖ Generación de Bioabonos (fertilizantes orgánicos).

1.1. La tecnología del biogas frente a algunos problemas del país.

Uno de los problemas que tenemos en Ecuador, y en el mundo entero, es debido al manejo irracional de los recursos ecológicos, ya que la depredación de la biomasa forestal así como de la excesiva liberación de contaminantes a la atmósfera, como causa de la revolución industrial, están contribuyendo a incrementar, el ya tan mencionado calentamiento global; debido a la excesiva liberación de gases destructores de la capa de ozono, ya sean estos gases cíclicos o no cíclicos; y, que los bosques primarios por la depredación constante no pueden controlar.

El caso del metano, que es un gas que se genera por la descomposición de residuos orgánicos y que también contribuye a la reducción de la capa de ozono, puede utilizarse como una forma de combustible, si es que se evita que este se libere al medio ambiente, y contribuya con el calentamiento global.

Por eso hay que tener presente que la aplicación de la tecnología del biogas no sólo ocurre en nuestro país sino que en todo el mundo, principalmente de los países agrícolas-ganaderos, los cuales producen billones de toneladas de desechos, que pueden

servir para la producción de biogas y así evitar la destrucción de los recursos naturales renovables y no-renovables.

Cuando nos referimos a la problemática del país tenemos que considerar que la globalización involucra diferentes aspectos que en su respectiva escala van desde los aspectos energéticos hasta los culturales.

El país ya ha sentido el peso de un déficit de energía, el cual en determinados momentos ha creado una reacción en los diferentes estratos sociales y empresariales. Durante los últimos tiempos hemos estado dependiendo de la generación hidroeléctrica, situación que vuelve demasiado sensible al país cuando los inviernos no se presentan con regularidad, por otro lado el precio de los combustibles ha incidido para que tengamos una generación eléctrica de un alto costo social, y las causas desde este punto de vista que afectan a la sociedad se las puede enumerar en las siguientes:

- a. Falta de suministros.
- b. Precios elevados.
- c. Distribución desigual,

En el campo de los fertilizantes podemos apreciar que estos son muy importantes para alcanzar altos rendimientos en los cultivos que componen la canasta básica familiar, como para los que producen y generan impuestos para el erario nacional con énfasis en las exportaciones, y en los que deberían destacarse los rubros que se generan en las exportaciones de bananos, mangos, etc. Los fertilizantes buscan restituir en el suelo los macro y micro nutrientes que la planta absorbe para su desarrollo vegetativo y para la formación de frutos. Vale poner a consideración que el país no produce fertilizantes y que los mismos deben ser importados con el efecto en la reserva monetaria o también bajo el sistema de trueques (producción por fertilizantes).

Bajo este esquema podemos presentar unos cuantos problemas que se generan por este rubro, y entre los más importantes se destacan los siguientes:

- Suministros escasos.
- Precios elevados.
- Distribución desigual y limitada.

- Calidad relativamente menor, en relación con el fertilizante bioorgánico producido por el Biogas.

El saneamiento es un factor que se ha echado de menos en nuestro país, por lo que se hace necesario señalar estos problemas identificándolos para posteriormente encontrar sus soluciones, visto que en el medio rural la falta de saneamiento ha afectado aspectos como los siguientes:

- Ubicación de desperdicios en los ríos, lagos y el mar.
- Contaminación alta.
- Costo del Saneamiento elevado.

Los aspectos de saneamiento antes mencionados han desarrollado un impacto ambiental cuyas dimensiones de daño provocadas por el mismo no se podrán corregir en corto plazo, lo que obliga a tomar acciones para que el deterioro no siga en aumento y podamos entregar a las generaciones futuras un ambiente amigable, el cual podamos conservarlo y vivir en equilibrio con el planeta. Varios efectos se pueden extrapolar y a la vez resumirlos en los siguientes puntos:



- Alta depredación de los recursos.
- Empobrecimiento de los suelos.
- Elevada contaminación.
- Desperdicios (ciclos no cerrados).

Todos los ingresos que tiene un país se reflejan en sus divisas, y de acuerdo al crecimiento económico se podrán desarrollar nuevos proyectos para beneficio de la comunidad urbana o rural, de ahí que, si los países no son industrializados y tienen un desarrollo autónomo, sus economías presenten efectos que influyen en la estabilidad sociopolítica de un país. Para nuestro caso se desprenden algunos efectos como los siguientes:

- ❖ Alta y frecuente dependencia del exterior.
- ❖ Importación de productos sustitutos de productos nacionales.

Una débil economía carente de incentivos limita a su desarrollo, y por ende limita el desarrollo agroindustrial de un país. Las limitaciones económicas de un país tienen una incidencia directa en las fuentes de trabajo, lo que en cascada refleja a los siguientes factores:

- Elevación de precios.
- Dificultad de suministros.
- Dependencia externa.
- Pocas posibilidades de desarrollo.

Sin lugar a dudas un país saludable con bajo índice de desempleo normalmente siembra su riqueza en la formación de las nuevas generaciones que aportan al desarrollo sustentable del país. La inversión de la riqueza y el superávit deberá ser reflejada en la cultura de un pueblo, razón por la que los gobiernos deberán trabajar en las siguientes áreas que a continuación se mencionan:

- Difusión de la tecnología.
- Programas continuos de gobierno.
- Cambio de mentalidad.
- Incentivos.

Como se planteó en los párrafos anteriores el desaprovechamiento de un recurso tan desperdiciado, y por ende

abundante, refiriéndose principalmente a los desechos orgánicos que incurren en una problemática global que involucra los siguientes aspectos interrelacionados, que se expone en el siguiente cuadro sinóptico:



Un cuadro con una problemática tan interrelacionada, requiere del planteamiento de una solución también integrada. La tecnología de la fermentación anaerobia ofrece soluciones a diversos aspectos y su implementación puede dar inicio a soluciones globales.

En la tecnología del biogas se obtiene un conjunto de centros autónomos, los cuales parten de materiales de desecho contaminantes para devolver productos útiles, como son:

Gas combustible de uso múltiple.

Bioabono susceptible de utilización inmediata.

La producción local permitirá sustituirlos y usar racionalmente nuestros recursos naturales. (La leña será sustituida por el biogás).

Un biodigestor devuelve el material orgánico digerido con una alta calidad biológica no patógena, por esto es evidente el impacto sobre el mejoramiento de las condiciones ambientales.

Existen algunos factores que nos permiten el movimiento interno de los capitales, materiales y la generación de puestos de trabajo, como son la utilización de recursos propios y locales, así como el empleo de la mano de obra nacional (14).

Las plantas de biogas presentan una tecnología apropiada para poner en armonía los recursos disponibles en el medio donde se tratan de implantar, pero estas no cuentan todavía con gran

aceptación, a pesar de que son muy simples. Los biodigestores, probablemente, no han sido bien adaptadas hasta ahora, ya que se han implantado modelos usados en otros países y que fueron diseñados para condiciones muy particulares.

Si una planta de biogas es manejada y mantenida correctamente, ésta satisface plenamente las necesidades de la finca, y desde luego gana el reconocimiento y satisfacción del dueño. Entonces está dispuesto a adaptarse a las necesidades de los biodigestores para que continúe generando biogas y bioabono.

La planta de biogas es apropiada para las condiciones técnicas y posibilidades económicas de los campesinos de nuestro país y de los países en vías de desarrollo. La tecnología del biogas está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, es una tecnología avanzada que permite la utilización de los desechos orgánicos como materia prima.

La tecnología del biogas tiene una mala imagen ante las personas (plantas de biogas son construidas por soñadores para gente pobre), lo que la ha estigmatizado con el estatus de "para gente pobre". Por esto el que no quiere pertenecer a la clase pobre, no se construye una planta de biogas, ya que sólo en pocos casos

las plantas del biogas satisfacen las necesidades de "status" y reconocimiento social del dueño.

Por esto se debe mejorar la imagen existente de la planta de biogas, ya que ésta debe ser un símbolo de ascenso social. El constructor contribuye por su parte al suministrar una buena construcción. Ya que para que una planta profesional funcione, tiene que ser construida de tal manera que cumpla con las exigencias y concepciones modernas.

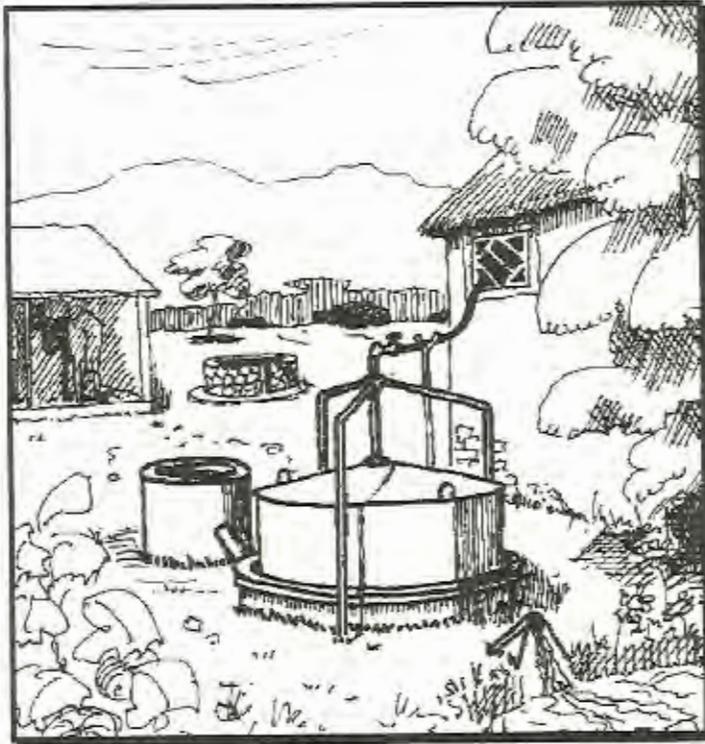


FIGURA 1.1. LA PLANTA DE BIOGAS EN LA FINCA. FUENTE:
LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE.

La planta de biogas es una inversión que nos da muchos beneficios como la bicicleta o motocicleta, una radio o una bomba de diesel, o como la de un buey o la ampliación de la vivienda campesina, ya que la utilidad económica de una planta de biogas es mucho más alta que la mayoría de los otros gastos competitivos.

Por eso, el diseño no debe ser primitivo, y la construcción debe ser buena. La cámara de gas debe estar bien sellada, y el tanque del cieno de fermentación (digestor) tiene que estar puesto en forma correcta. Por estos motivos la producción agrícola debe mejorarse, teniendo ahorros sensibles de dinero al no gastar demasiado en energía y fertilizantes sin sacrificar los rendimientos de los cultivos ni las comodidades del hogar. Una buena planta de biogas está adaptada a las necesidades del dueño, a sus habilidades y posibilidades, es decir a las necesidades del futuro (22).

1.2. Control de contaminación.

El estiércol de cerdos manejados incorrectamente genera una problemática muy compleja, con implicaciones de tipo ambiental, de salud y económicas. Cuando son vertidos los residuos

orgánicos de forma indiscriminada y continua, la fracción sólida del estiércol produce un taponamiento en las fisuras del suelo, lo que limita la capacidad de drenaje del suelo, lo cual implica una degradación del mismo, y además, influye para generar problemas de intoxicaciones del suelo, adicional al agotamiento de oxígeno del suelo que se la conoce como anaerobiosis.

Al ser vertido en ríos, manantiales y niveles freáticos, la carga orgánica del estiércol de cerdos, ocasiona problemas como eutrofización, la cual consiste en una disminución dramática del oxígeno contenido en el agua, lo que incide para que desaparezca la vida acuática; esto se debe a que es aproximadamente 200 veces superior a la carga orgánica de las aguas residuales urbanas.

El aire también es afectado por el manejo inadecuado de los residuos contaminantes primordialmente el amoníaco, el ácido sulfhídrico y el polvo de tipo orgánico. Algunos de los efectos de altas dosis del ácido sulfhídrico son:

- Colapsos repentinos.
- Parálisis respiratorias.

- Edema pulmonar.
- En excesos produce la muerte.

El polvo orgánico ha generado el llamado síndrome tóxico de polvo orgánico (ODTS), el cual presenta los siguientes síntomas:

- ✓ Fiebre.
- ✗ Malestar general.
- ✗ Dolor muscular.
- ✗ Dolor de cabeza.
- ✗ Tos.
- ✓ Pecho cerrado.
- ✓ Producción de flema en exceso.
- ✗ Agrava los síntomas del asma.

Si tiene un alto contenido de nitrógeno se forman nitratos, los cuales al mezclarse con agua para el consumo humano, dan lugar a la formación de compuestos alometanos y organoclorados,

ocasionándole mal sabor al agua y en concentraciones elevadas puede ser tóxico (3).

De todos los problemas expuestos, estos pueden ser controlados con un buen diseño de Biodigestores, obteniéndose gas para iluminación, calefacción y cocción; aparte de los bioles y biosoles.

Para apreciar mejor los efectos de la contaminación del biodigestor en el medio ambiente y su forma de control, apreciemos la matriz en el cuadro adjunto.

TABLA 1

ANALISIS DEL IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE Y CONTROL DE CONTAMINACION.

FACTORES AMBIENTALES	INCIDENCIA DEL PROYECTO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
<u>MÉDIO BIOFÍSICO</u>		
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	BAJA	<ul style="list-style-type: none"> - IMPERMEABILIZACIÓN DE CAMPANAS Y CÁMARAS. - VERIFICACIÓN DE PRESIONES

FACTORES AMBIENTALES	INCIDENCIA DEL PROYECTO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
CONTAMINACIÓN DE AGUAS	BAJA	- CONTROL DE FUGAS. - CANALIZACIÓN DE EFLUENTES POR MEDIOS ABIERTOS O CERRADOS.
RUIDO Y VIBRACIONES	NINGUNA	NINGUNA
DETERIORO DEL SUELO	BAJA	- CONTROL DEL PROCESO DE BIOTRANSFORMACIÓN.
ESPACIOS NATURALES	BAJA	- SIEMBRA DE CESPED EN EL ÁREA DE CONSTRUCCIÓN.
FLORA	BAJA	NINGUNA
FAUNA	BAJA	NINGUNA
TRATAMIENTO DE ECRETAS	ALTO	- MEZCLAS APROPIADAS. - CONTROL DE pH. - CONTROL DE TEMPERATURA. - PERIODOS DE RETENCIÓN.
PAISAJE	BAJA	NINGUNA
<u>MEDIO SOCIO ECONÓMICO Y CULTURAL</u>		
DEMOGRAFÍA	BAJA	NINGUNA

FACTORES AMBIENTALES	INCIDENCIA DEL PROYECTO	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
TRADICIONES CULTURALES Y COSTUMBRES	MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> - PREPARACIÓN DE ALIMENTOS CON EL USO DEL BIOGAS. - USO DEL BIOGAS PARA ILUMINACIÓN Y CALEFACIÓN. - USO DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS. - USO DEL BIOGAS COMO FUENTE DE COMBUSTIBLE EN MAQUINAS.
MORTALIDAD Y MORBILIDAD		NINGUNA
NIVELES EDUCATIVOS	MEDIO	<ul style="list-style-type: none"> - CAMBIOS EN LOS MÉTODOS DE TRABAJO. - APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PARA SER TRANSFORMADOS EN BIOGAS Y BIOABONOS. - APRENDIZAJE PARA LA TOMA DE LECTURAS EN MANÓMETROS DE AGUA. - APRENDER A HACER PROPORCIONES EN LAS MEZCLAS.

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR Y DIRECTOR DE TESIS.

1.3. Principios de generación de Biogas.

El biogas es una mezcla de gases como consecuencia de la degradación de la materia orgánica en ausencia de aire bajo ciertas condiciones de temperatura, calidad de materia orgánica, pH, etc., la cual es realizada por un grupo selecto de bacterias (14).

Las bacterias actúan directamente sobre los desechos orgánicos, el cual es, fundamentalmente, un proceso de degradación microbiana o digestión. Los compuestos complejos, los cuales forman las macromoléculas, son continuamente desdoblados por las bacterias en moléculas más pequeñas, logrando gracias al proceso de degradación o de digestión microbiana, la formación de otras moléculas más simples hasta llegar a micromoléculas, elementos o iones. Este proceso de degradación microbiana vital no se detiene con el cese de producción de biogas, sino que origina a su vez una biología particular, la que integrada a los suelos trae consigo su recuperación. Estos microorganismos están incluidos en el bioabono (2,14).

Cuando las condiciones físicas y químicas le son favorables para la supervivencia de las bacterias, los productos de la degradación

de la materia orgánica se obtienen con una alta eficiencia. Esto es posible dentro de un biodigestor (14).

Debido a que este proceso es realizado por organismos vivos y se producen una serie de reacciones bioquímicas para que se produzca el biogás y el bioabono, son muchos los factores que pueden influir. Entre los más importantes tenemos:

- **Temperatura:**

La producción de biogás puede realizarse desde temperaturas de 10 hasta 60^o C. Según la temperatura que haya en el digestor se diferencia entre:

- ✓ **Fermentación psicrófila** (10 - 20° C, más de 100 días de retención),
- ✓ **Fermentación mesófila** (20 - 35° C, más de 20 días de retención),
- ✓ **Fermentación termófila** (50 - 60° C, más de 8 días de retención) (15, 22).

La fermentación termófila no es apropiada para las plantas sencillas.

La tasa de producción de metano se incrementa con la temperatura, pero en la práctica los rangos más usados son los correspondientes a la fermentación psicrófila y mesófila. Por debajo de 10°C la producción de biogás es muy baja (7,24).

pH:

El pH del cieno de fermentación ayuda a saber si el proceso de fermentación transcurre sin problemas. El pH debe de tener un valor de alrededor de 7 para una adecuada fermentación anaeróbica de la materia orgánica, o sea, el pH debe estar cercano a la neutralidad. Esto significa que el cieno de fermentación no debe ser ni alcalino, ni ácido (2,7,14).

La digestión se inhibe por debajo de 6.5 y cesa a pH 4.5, debido a que las bacterias metanogénicas son muy sensibles a la acidez (14).

Entre los factores que hacen descender el pH tenemos

- Sobrecarga del biodigestor, ó caso contrario, por la permanencia de éste sin cargar por mucho tiempo.

- Variaciones muy grandes en la temperatura.
- Presencia de sustancias tóxicas en la carga (15, 23).

Para remediar problemas de bajo pH se puede adicionar: carbonato de calcio, hidróxido de calcio, o bicarbonatos de calcio, magnesio o amonio. Problemas de pH alcalinos (mayores de 9) no son muy frecuentes y se solucionan cuando se agregan nuevas cargas al digestor.

▫ **Concentración de sólidos:**

Uno de los problemas que no se les da la debida importancia, es el material de carga (estiércol), dado que si está muy diluido o muy concentrado, no se puede esperar una óptima producción de biogás, ya que ocurre una ineficiente actividad fermentativa y por lo tanto una baja producción de metano.

De estudios realizados en 1987 por Camacho y Medina, sobre la producción de biogás relacionada con el volumen de la fase líquida del digestor, se dedujo que para una concentración de sólidos de 5% en la carga, la producción le correspondería al 40% del volumen líquido,

incrementándose ésta a 60% cuando se carga con 8% de sólidos. En otros estudios realizados en 1980 por Santana y Pound, en los cuales se analizaron concentraciones de sólidos totales de 1, 3, 5 y 8%, se observó un incremento lineal en la producción de biogás, lo cual, puede ser atribuido a la mayor concentración de materia orgánica disponible para la fermentación. En la práctica, se deben usar concentraciones del 4 - 6% para los biodigestores plásticos de flujo continuo.

- **Tiempo de retención:**

Se define como el tiempo que las bacterias requieren para degradar la materia orgánica; es decir, el tiempo que transcurre desde que ingresa el estiércol o biomasa (material de carga) hasta que salga del biodigestor. El tiempo de retención se relaciona estrechamente con la temperatura, concentración de sólidos y otros factores, ya que la materia orgánica más disuelta requiere de menos tiempo de retención, al igual que cuando se trabaja con temperaturas altas, según las investigaciones de Camacho y Medina. En una investigación realizada por Bloodoo en 1979, otro de los factores que influyen en el aumento del

tiempo de retención es la cantidad de materia seca, el cual produce un incremento de la producción de biogás (23).

Agitación:

La producción de metano de las plantas de biogas, depende totalmente de que las bacterias cumplan de manera eficiente su ciclo biológico; por este motivo se debe dar la debida importancia para que estas se encuentren en las mejores condiciones. Es conveniente agitar o mover la masa interna del biodigestor para que los microorganismos y la materia prima o sustrato estén en íntimo contacto.

El movimiento de la masa interior es mucho más fácil, si las plantas operan a alta dilución (gran cantidad de agua), pero en cambio el movimiento resulta dificultoso cuando la concentración de sólidos es alta, en estos casos es necesario recurrir a otros procedimientos. Es beneficioso mover la masa interior, porque con esto se logra remover formaciones sólidas o "natas" que flotan en la superficie e impiden la libre salida del biogas, las cuales se producen por el material fibroso no digerible (14,15).

Las plantas de gas que se encuentran operando a nivel mesofílico (de 25 a 35° C), la agitación requerida para romper la nata que se produce en la superficie del sustrato a digerir es muy leve, siendo suficiente la que provoca la carga diaria al entrar al digestor. En el caso de los biodigestores que trabajan a nivel termofílico (40 a 60° C), la agitación que requieren estos es continua, para establecer un mejor contacto entre bacterias y sustrato, proporcionando además que la temperatura interna sea más uniforme (15).

En ciertos biodigestores, sus diseñadores tomaron en cuenta el problema que significaba las formaciones de natas en la superficie de la mezcla; por este motivo sus diseñadores adecuaron en el interior accesorios móviles, los cuales se accionan mecánicamente cada cierto tiempo para permitir la agitación interna de la masa.

En otras plantas con alta concentración de sólidos, lo que permite la agitación por circulación es el propio movimiento que se realiza por el desplazamiento del líquido en el seno de los sólidos (14).

✓ **Nutrientes:**

Según investigaciones realizadas por Camacho y Medina en 1987, es necesario que haya un aporte adecuado de nutrientes, para que exista una óptima actividad bacterial. Los principales nutrientes requeridos por las bacterias son el carbono (C) y el nitrógeno (N), además de algunos elementos minerales como: azufre (S), potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), entre otros; los cuales son requeridos en pequeñas cantidades y se encuentran en su totalidad en los excrementos animales (23).

La cantidad y calidad del biogas que se produce, dependerá de la composición del desecho utilizado, ya que toda la materia orgánica es capaz de producir biogas al ser sometido a fermentación anaeróbica (15).

El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano. En términos generales una relación carbono / nitrógeno de 30:1 se considera adecuada, ya que las bacterias consumen más rápidamente el carbono que el nitrógeno,



debido a que el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Si no hay suficiente nitrógeno la velocidad de producción de gas se verá limitada; pero en cambio si existe nitrógeno en exceso se produce amoníaco (NH_3), el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso. Existen otros factores como son: el mezclado; la presencia de materiales tóxicos como pesticidas, insecticidas y detergentes; altas concentraciones de nitrógeno en forma de amonio; presencia de oxígeno; presión excesiva en el interior del digestor; que pueden disminuir ó incluso interrumpir el proceso de producción de biogás (14,15).

Teóricamente, podemos obtener biogas de cualquier material orgánico. Al principio podemos utilizar estiércol de ganado vacuno, como "iniciador", el cual es un material con alto contenido de lignina, por ejemplo, la paja, debe ser prefermentado y si es posible picado en trozos pequeños. Los jacintos de agua deben ser prefermentados más de 10 días, con 20 días se mejora notoriamente la producción de biogas dentro de los biodigestores (22).

TABLA 2

RELACION CARBONO: NITRÓGENO DE DIVERSOS DESECHOS
DISPONIBLES EN EL MEDIO RURAL.

Material	% N (base seca)	% C (base seca)	C:N
Desechos animales			
Bovinos	1.7	30.6	18:1
Equinos	2.3	57.6	25:1
Ovinos	3.8	83.6	22:1
Porcinos	3.8	76.0	20:1
Aves	6.3	50.0	7.9:1
Excretas Humanas	0.85	2.5	3:1
Desechos vegetales			
Paja de trigo	0.53	46.0	87:1
Paja de arroz	0.63	42.0	67:1
Rastrojo de maíz	0.75	40.0	53:1
Hojas secas	1.00	41.0	41:1

FUENTE: BIOGAS ENERGIA Y FERTILIZANTES A PARTIR DE
DESECHOS ORGANICOS. OLADE.

1.4. Generadores usados en la producción de Biogas y Bioabono.

Los generadores o plantas de Biogas son una fuente de obtención de gas natural (Biogas) y fertilizante (Bioabono), por medio de un recipiente en el cual se crean las condiciones necesarias, para que las bacterias descompongan el material (desechos animales y/o desechos vegetales) por fermentación anaeróbica.

produciéndose así los productos antes mencionados. Existen muchos modelos de construcción de plantas de Biogas, de acuerdo a las condiciones de las diferentes zonas climáticas (14,23).

Las plantas de biogas se pueden clasificar de acuerdo a su método de carga en: plantas "**Batch**" o estacionaria, y plantas "**Continuas**" (22).

Las plantas **Batch** son cargadas una sola vez y vaciadas por completo después de un tiempo de retención fijado, o sea cuando ya se ha fermentado toda la materia orgánica, momento en el cual cesa la producción de biogas y por lo tanto deben vaciarse las plantas y cargarse con nuevo material. Cualquier tipo de construcción y todos los materiales de fermentación son aptos para una planta **Batch**. Para un abastecimiento continuo de gas en las plantas **Batch**, se requiere de un gran depósito de gas o varios digestores a la vez. Las **plantas Continuas** son cargadas y descargadas en forma periódica, por lo general, todos los días, por lo tanto hay una producción de gas permanente. Cualquier tipo de construcción es apropiado para una planta **Continua**, pero el material de fermentación debe ser fluido y uniforme (14,22,23).

Las plantas **Continuas** con presión constante se descargan automáticamente por rebose, por ejemplo, las de “**campana flotante**”.

Las plantas **Continuas** con presión alterna tienen que ser llenadas y vaciadas, por ejemplo, las de “**depósito de gas con cúpula fija**”.

Las plantas **Continuas** son más adecuadas para las viviendas campesinas. Las labores necesarias se pueden integrar más fácilmente en las tareas diarias. En estas plantas la producción de gas es más uniforme y es un poco mayor que en las plantas **Batch**

Cuando queramos fermentar paja y estiércol de animales a la vez, también se puede cargar una planta de biogas en formas **Semi-Batch**. Como sabemos que la paja, es un material que se degrada lentamente, la introducimos a la planta como material **Batch** unas dos veces al año. Por otro lado el estiércol debe ser cargado y descargado con regularidad (22).

Cada tipo de sistema mencionados anteriormente ofrece ventajas particulares, y su implementación debe ajustarse a las necesidades particulares de cada caso; por lo tanto cada sistema

busca la mayor eficiencia en la producción de biogas, además, que busca un incremento en la velocidad de degradación de los materiales introducidos, logrando así, disminuir el volumen de los tanques y los costos de inversión (14).

En las plantas de biogas sencillas se distinguen tres tipos principales:

- La planta Balón,
- La planta con Cúpula Fija, y
- La planta con Campana Flotante (22).

➤ **La planta Balón:**

La planta **Balón** esta compuesta de una bolsa de plástico o de caucho, además, está constituida por una caja de carga construida en ladrillo, hechos con tubulares de polietileno (PVC); y por una caja de descarga que permite mantener el líquido dentro de él, y que a la vez permite atrapar el biogas. En cada una de las cajas hay un tubo de concreto al cual se ata el biodigestor que esta dentro de una fosa hecha en la tierra. El gas es almacenado en la parte superior de la bolsa

de fermentación. La entrada y salida están sujetas directamente a las paredes de la bolsa. La planta trabaja como una planta de cúpula fija cuando la cámara de gas se hincha. Por lo tanto, el balón no es inflado, sólo es poco elástico (22,23).

A través de los movimientos de las paredes del balón el cieno de fermentación es agitado levemente. Esto favorece el proceso de fermentación. También un material de lenta descomposición, por ejemplo, el jacinto de agua, se puede utilizar en una planta **Balón**.

El material del balón debe ser resistente a los rayos ultravioleta. Los materiales **RMP** (red mud plastic), trevira, butilo y semejantes, han dado buenos resultados en otros proyectos de investigación de digestores (22).

La vida útil de éstos se estima de 3 años para los tubos de polietileno, con aditivos que los protejan de los rayos ultravioletas, y de 6 años para el material del balón. Pero la duración dependerá directamente del cuidado que le dé su propietario. Las partes de ladrillo tienen una duración mayor y en cambio las partes plásticas son de fácil cambio (23).

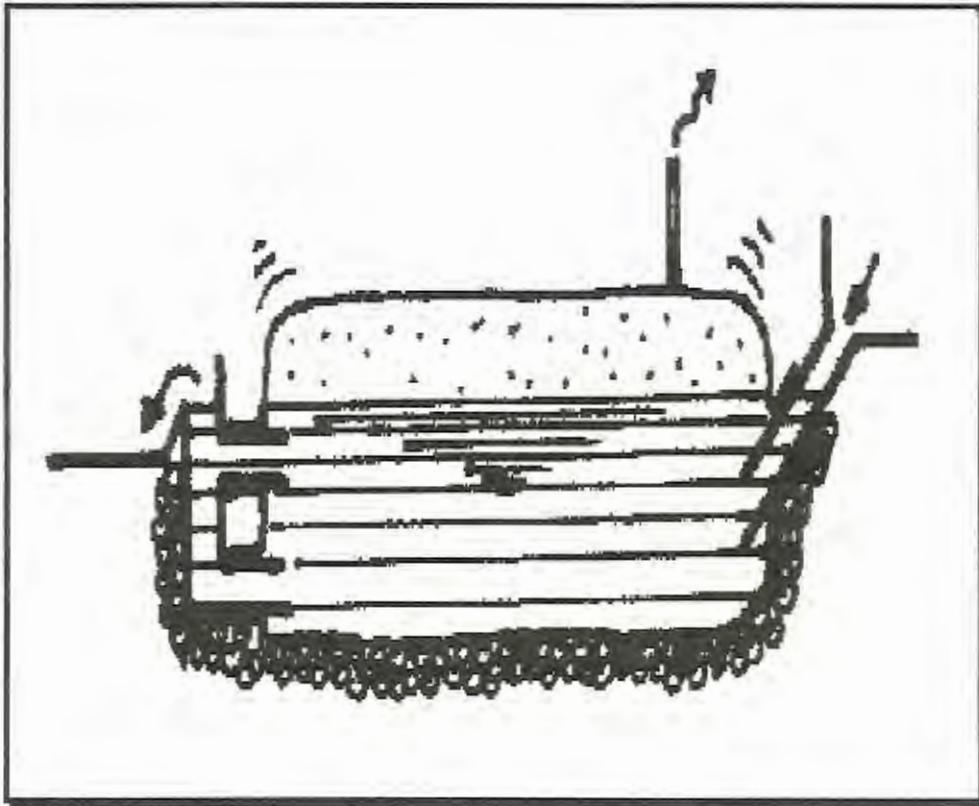


FIGURA 1.2. PLANTA BALÓN. FUENTE: LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE.

❖ **Ventajas:**

- ❑ Bajos costos,
- ❑ Fácil transporte,
- ❑ Construcción plana (importantes para regiones con alto nivel freático),

- Altas temperaturas en digestor,
- Fácil limpieza, descarga y mantenimiento.

❖ **Desventajas:**

- Corta vida útil (tres años para los tubos de polietileno y 6 años para el material del balón),
- Sensible a daños,
- No se crean fuentes de trabajo en el lugar,
- Se reduce la cantidad de trabajo propio.

Una planta **Balón** se puede recomendar para todos aquellos sitios donde no haya peligro de que se dañe la pared de la bolsa y donde predominen temperaturas altas y constantes (22).

➤ **La planta de Cúpula Fija:**

La planta con cúpula fija se compone de un tanque cilíndrico, con techo y fondo cóncavo (digestor cerrado), construido bajo tierra, y además con una cámara de gas móvil y fija. El gas es

almacenado en la parte superior del digestor. Al principio de la utilización del digestor se le coloca una carga parcial inicial, compuesta de desechos orgánicos de diferente naturaleza, los cuales han sufrido un tratamiento preliminar de fermentación aeróbica o anaeróbica. Una vez cerrado se alimenta diariamente con desechos orgánicos, al mismo tiempo que se retira un volumen de bioabono líquido, equivalente al volumen que entro. Durante la producción de gas el cieno de fermentación es desplazado hacia el tanque de compensación. La presión del gas aumenta según la cantidad de gas almacenado, el cual genera una presión interna que obliga al desplazamiento de parte del líquido sobrenadante a una cámara de compensación. Si se encuentra poco gas en el depósito, la presión del gas también es baja, por lo tanto se regresa el líquido de la cámara de compensación (15,22).

Si se requiere una presión constante (por ejemplo, para motores), es necesario un regulador de presión o un depósito de gas flotante. Para motores se necesita mucho más gas, lo que implica grandes depósitos de biogas. Entonces, la presión de gas sube en exceso si no se tiene un depósito de gas flotante (22).

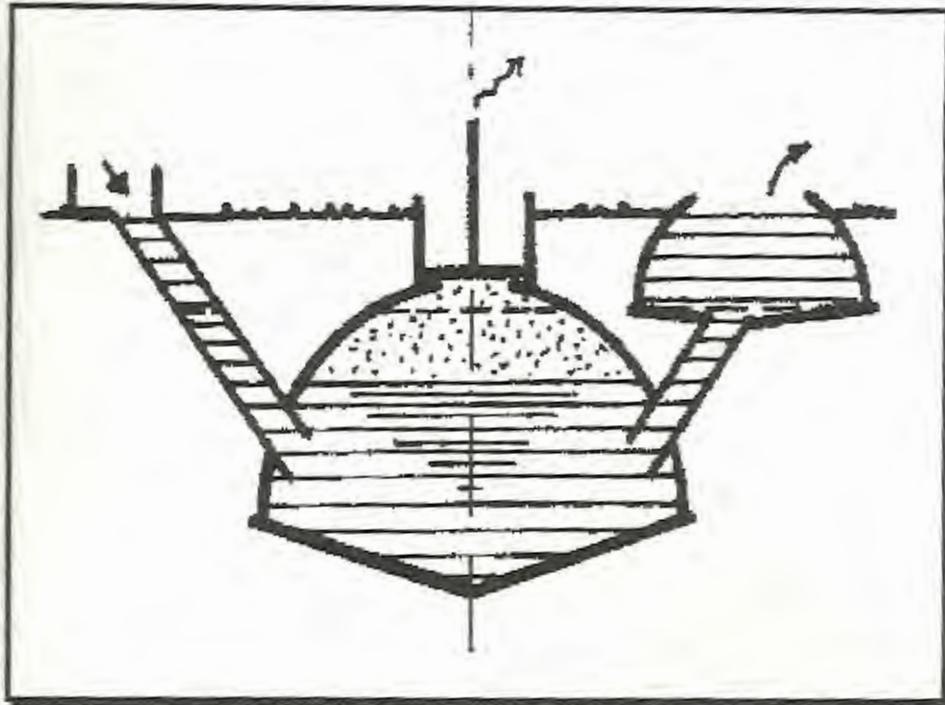


FIGURA 1.3. PLANTA CON CUPULA FIJA. FUENTE: LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE.

❖ **Ventajas:**

- Bajos costos de construcción,
- No posee partes móviles,
- No posee partes metálicas que se puedan oxidar y por lo tanto tiene una larga vida útil (20 años o más).
- Construcción subterránea

Protegido contra las bajas temperaturas en el invierno

Ayuda a ahorrar espacio.

Crea fuentes de trabajo en el lugar.

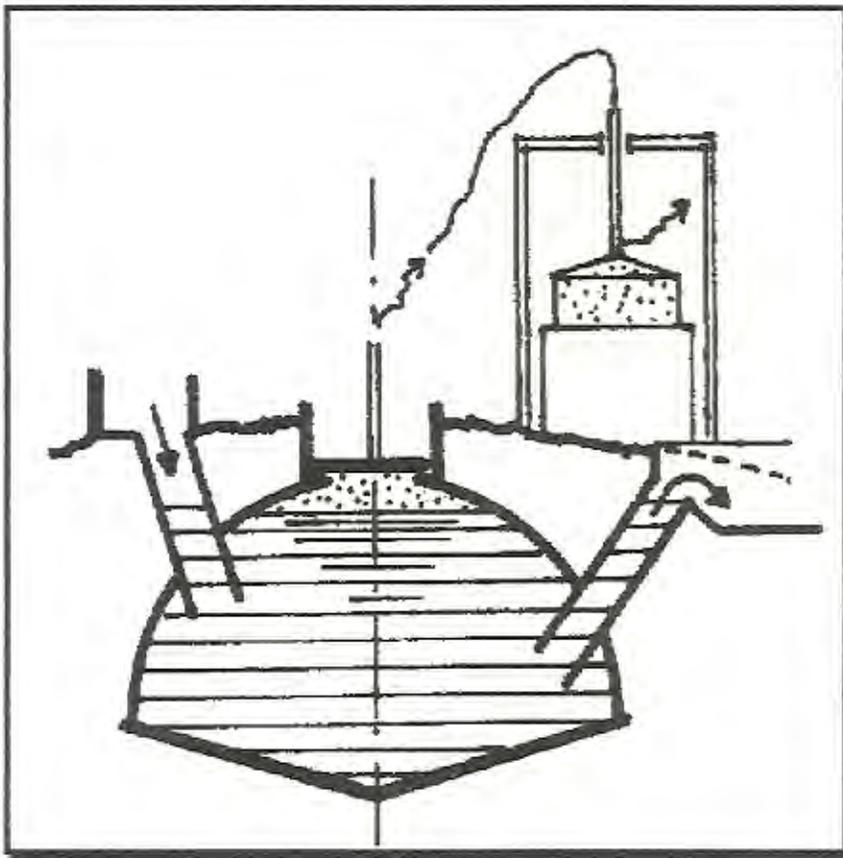
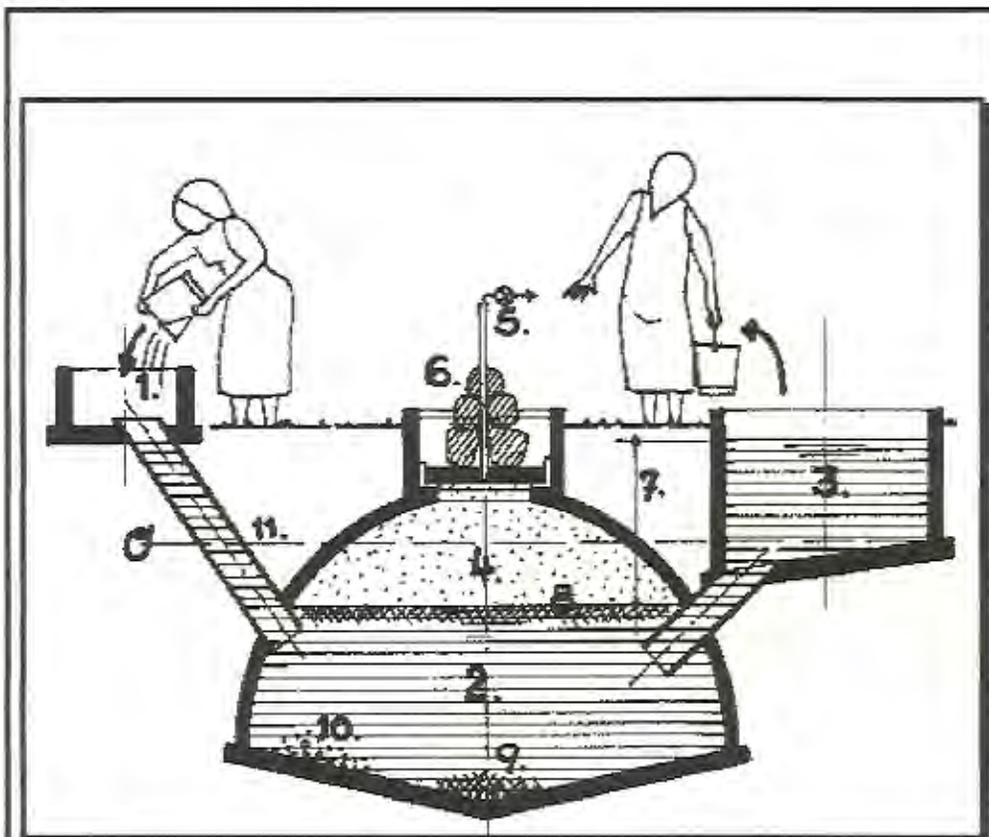


FIGURA 1.4. PLANTA CON CUPULA FIJA Y CON DEPOSITO DE GAS SEPARADO. FUENTE: LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE.

❖ Desventajas:

- ❑ Muchas veces las plantas no están bien selladas (porosidad y grietas),
- ❑ Fuertes oscilaciones,
- ❑ Presión de gas muy alta (en muchos casos),
- ❑ No tiene rebase automático,
- ❑ Un manejo complicado,
- ❑ Bajas temperaturas de fermentación en el digestor.

La planta de cúpulas fija solamente se puede recomendar en sitios en donde la obra de construcción es supervisada por técnicos con mucha experiencia en materia de biogas. Los usuarios de las plantas deben ser asesorados con regularidad y durante un periodo largo (22).



1. Tanque de mezcla con tubo de carga; 2. Digestor; 3. Tanque de compensación y de vaciado; 4. Deposito de gas; 5. Tubo de salida de gas; 6. Tapa de la escotilla de entrada ajustada y sellada para evitar el escape de gas; 7. Diferencia de niveles = presión del gas en cm columnas de agua; 8. Capa flotante, la cual es destruida por el cambio de niveles; 9. Acumulación de lodos espesos; 10. Acumulación de arena y piedras; 11. Línea cero = nivel de carga sin presión de gas.

FIGURA 1.5. PARTES DE UNA PLANTA DE CUPULA FIJA. FUENTE: LA PLANTA DE BIÓGAS. LUDWIG SASSE.

➤ **La planta de Campana Flotante:**

La planta con una Campana Flotante se compone de un digestor (que es un tanque que está totalmente enterrado, excepto la parte superior) y de un depósito de gas móvil. Este flota ya sea directamente en el cieno de fermentación o en un anillo de agua propio (14,15,22).

El gas se acumula en la campana, haciéndola subir. Cuando se extrae gas, aquella vuelve a bajar. Un bastidor de guía evita que la campana se ladee (22).

❖ **Ventajas:**

- Manejo fácil y razonable,
- Presión de gas constante,
- El gas almacenado es directamente visible,
- Pocos errores posibles en la construcción.

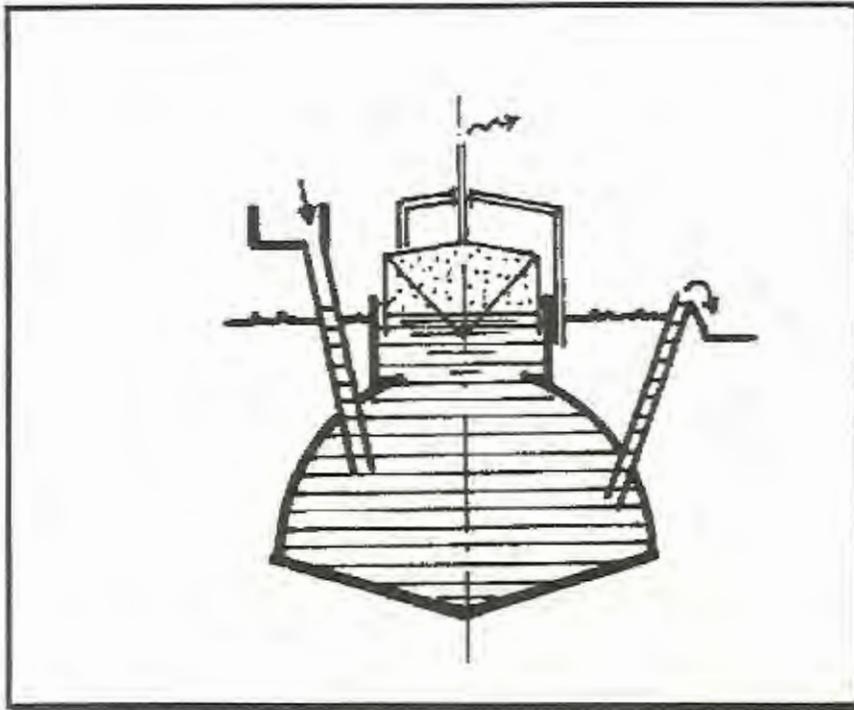
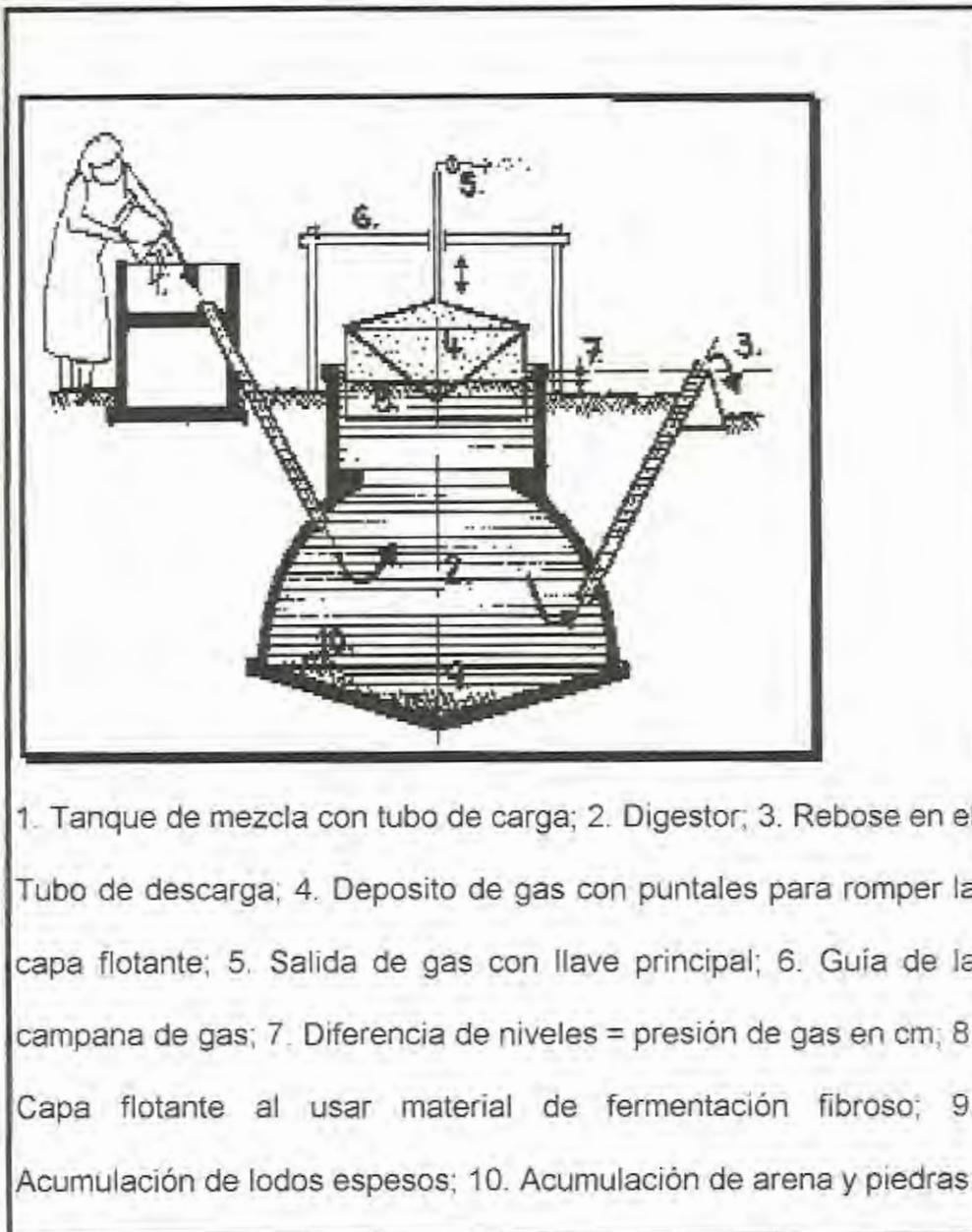


FIGURA 1.6. PLANTA CON CAMPANA FLOTANTE. FUENTE:
LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE.

❖ **Desventajas:**

- Altos costos de construcción de la campana,
- Muchas piezas metálicas que se corroen con facilidad, por eso,
- Un tiempo de vida corto (hasta 15 años; en costas tropicales unos cinco años de vida para la campana),

Costos de mantenimientos periódicos causados por trabajos de pintura.



1. Tanque de mezcla con tubo de carga; 2. Digestor; 3. Rebose en el Tubo de descarga; 4. Deposito de gas con puntales para romper la capa flotante; 5. Salida de gas con llave principal; 6. Guía de la campana de gas; 7. Diferencia de niveles = presión de gas en cm; 8. Capa flotante al usar material de fermentación fibroso; 9. Acumulación de lodos espesos; 10. Acumulación de arena y piedras.

FIGURA 1.7. PARTES DE LA PLANTA DE CAMPANA FLOTANTE.

FUENTE: LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE.

Aún con estas desventajas siempre es recomendable la planta con campana flotante en casos de duda. Campanas flotantes de fibra de vidrio o polietileno compacto han dado buenos resultados en zonas costeras. Los costos de construcción son, sin embargo, más altos que al usar acero.

Campanas flotantes hechas de concreto, tienden a sufrir grietas finas y son casi siempre porosas. Estas necesitan una capa de pintura elástica e impermeable al gas en la parte interior (22).

Campanas hechas de PVC no son convenientes, porque en ensayos realizados por investigadores de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH y por el Convenio Interinstitucional para la Producción Agropecuaria en el Valle del Río Cauca (CIPAV), llegaron a la conclusión de que las campanas de PVC no son resistentes a los rayos ultravioletas, son muy sensibles a los daños y su vida útil es de tres años (22,23).

En vez de usar una campana flotante se puede extender un balón sobre el digestor. Así se pueden ahorrar costos de construcción.

En prácticas hechas en otros ensayos siempre se presentaron problemas con el ajuste del balón con el borde del digestor. Estos tipos de plantas, aún están en experimentación para su aplicación práctica posterior.

1.5. Mejoramiento económico de las familias que adopta el sistema de Biogas.

Una planta de biogas suministra energía y abono. Mejora las condiciones higiénicas y no daña el medioambiente, además que ayuda a aliviar el presupuesto nacional y mejora las condiciones de trabajo del ama de casa. Una planta de biogas es una fuente de energía moderna, a la vez que mejora las condiciones de vida en el campo (22).

La utilidad de las plantas de biogas están expresadas directamente hacia el uso en la cocción (cocinas), iluminación (lámparas), refrigeración (refrigeradores) y en el uso de motores de combustión interna (generadores) (4,6,22)

La aplicación de la tecnología de los biodigestores puede contribuir a resolver los problemas energéticos a nivel de finca ya que permite el reciclaje de nutrientes, la producción de biogas, no utiliza combustibles fósiles, elimina el olor desagradable de los

desechos, reduce el poder contaminante de las aguas residuales de lavado o contaminadas con estiércoles, no produce desequilibrios en el ecosistema y además, nos quedan subproductos ricos en nutriente altamente asimilables por las plantas y que además pueden ser utilizados para la fertilización de estanques para peces (6,22,23).

Las plantas de biogas sólo pueden satisfacer estas altas expectativas si están bien construidas. Una planta de biogas de la misma manera que suministra energía también consume energía, dado que ya en la fabricación del material de construcción se consume energía:

- Para 1 mts³ de mampostería unos 1000 Kwh o 180 mts³ de biogas,
- Para 100 Kg de acero unos 1200 Kwh o 200 mts³ de biogas,
- Para 1 Kg de pintura al aceite unos 170 Kwh o 28 mts³ de biogas.

En el transporte de los materiales de construcción para la instalación de una planta de biogas se consume energía. La supervisión de la obra y el mantenimiento consume energía:

- Para 1 Km recorridos en camión unos 1,5 Kwh o 1,05 mts³ de biogas,
- Para 1 Km recorrido en automóvil unos 0,5 Kwh o 0,35 mts³ de biogas.

Lo correcto es que una planta de biogas tenga que funcionar de uno a dos años hasta que la energía invertida en la fabricación de esta sea amortizada.

El grado de fermentación aumenta con el tiempo de retención o fermentación. Tiempos largos de retención ahorran energía. Con tiempos de retención cortos el beneficio neto de la planta en forma de energía es menor, por ejemplo. Si se acorta el tiempo de retención de 90 a 45 días para 50 Kg de estiércol de ganado vacuno se pierden alrededor de 790 Kwh o 240 mts³ de biogas al año.

Una planta de biogas alivia el trabajo de la finca o casa, pero al mismo tiempo, ocasiona más trabajo. Se tiene que llevar el

estiércol y agua a la planta de biogas. El cieno de fermentación tiene que ser mezclado. Tiempos largos de retención reducen el trabajo de la finca. Las plantas de biogas con tiempos cortos de retención, consume más mano de obra, por ejemplo, para reemplazar 20 Kg. de leña por biogas, la persona encargada del cuidado del biodigestor necesita cargar 121 Kg. de estiércol y 121 litros de agua con un tiempo de retención de 45 días en el biodigestor (en el caso de estiércol de bovinos). Con 90 días de retención, sólo se necesitan 84 litros. Esta es una diferencia de casi 9 Kg de estiércol y 9 litros de agua por mts^3 de gas al día.

Si la planta de biogas es cargada solamente cada dos días a la semana, se puede ahorrar tiempo de trabajo, porque se evita el tiempo de preparación. Si la planta de biogas se encuentra muy alejada de la toma de agua y del establo, es mayor el trabajo de la persona encargada de cargar el biodigestor, por ejemplo, el propietario del biodigestor tiene menos trabajo con una planta de biogas si la distancia hasta la toma de agua, sumada a la distancia al establo, es menor a un cuarto de la distancia hasta el sitio donde se encuentra la leña (22).

El constructor decide para quien debe ser rentable la planta de biogas:

- ❖ Una planta de biogas con tiempos de retención cortos es rentable para campesinos con mucho ganado y con mano de obra barata.
- ❖ Una planta de biogas con tiempos de retención largos es conveniente para:

- Un campesino que tenga poco ganado,

- El ama de casa,

- La economía nacional.

El beneficio personal que obtiene cada dueño de una planta de biogas depende de cómo éste satisface hasta ahora sus necesidades de energía y abono. Mientras más altos sean las cantidades y el precio de la energía que tenía que comprar (kerex, diesel, carbón, leña), más grande es el beneficio que se obtiene. Teniendo en cuenta que siempre hay una estrecha relación entre costos de energía y precios de construcción (6,22).

Según datos contenidos en investigaciones se pueden determinar los costos de energía.

Ejemplo:

Consumo de leña hasta la fecha 200 Kg / mes, equivalente en biogas 0.18 mts³ por Kg,

- Cantidad de biogas comparable: $0.18 \times 200 = 36 \text{ mts}^3$.
- Cantidad de biogas requerida por día: $36 / 30 = 1.20 \text{ mts}^3$.

Si la cantidad mínima de gas producida diariamente es de 1,20 mts³, ya se están ahorrando los costos de comprar combustible. El sobrante de la producción de gas queda disponible en forma gratuita. Hasta que punto se pueda valorar el sobrante, depende de su adecuada utilización.

Los beneficios que aporte el abono dependen, ante todo, de los conocimientos del campesino sobre su adecuada utilización y aplicación.

De cada kilo diario de material de fermentación se obtiene alrededor de 0,5 Kg extra de nitrógeno al año, en comparación con el estiércol fresco.

Si las enfermedades parasitarias eran muy comunes de la zona de aplicación de los biodigestores, el mejoramiento de la higiene significa también ventajas económicas (tiempo de trabajo).

Mientras mejor esté fermentado el material, más agentes patógenos son eliminados. Entre más largos sean los tiempos de retención y altas temperaturas dentro del digestor los subproductos son más higiénicos (22).

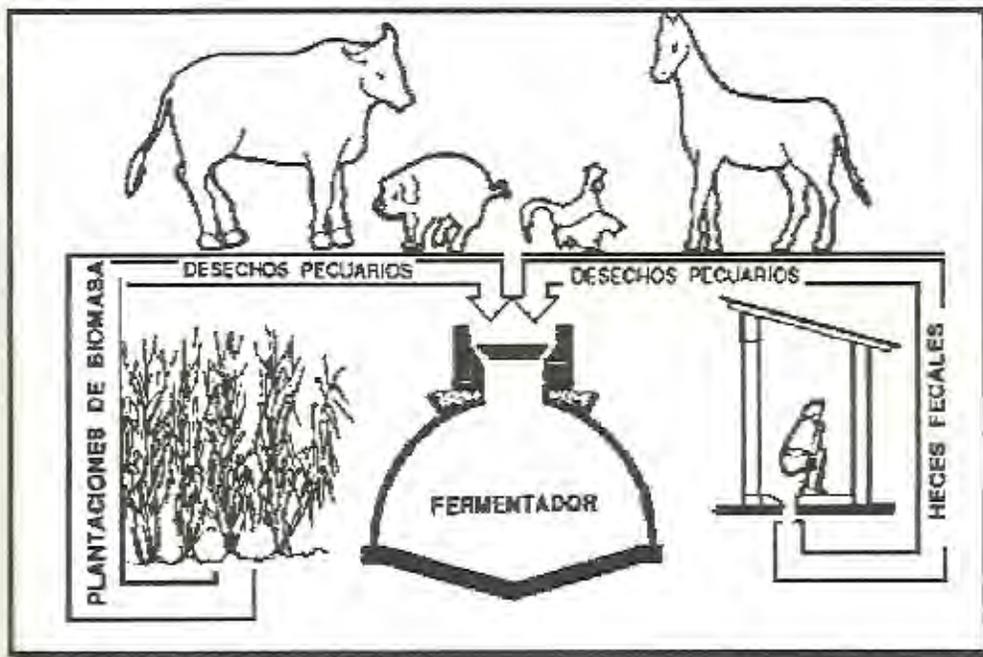


FIGURA 1.8. MATERIA PRIMA UTILIZADA PARA EL CARGADO DE BIODIGESTORES (BIOMASA). FUENTE: MANEJO DE EFLUENTES. PROYECTO BIOGAS UMSS – GTZ.

En una planta de biogas son eliminadas sobre todo: las bacterias del tifus, paratífus, cólera y disentería (en 1 a 2 semanas), lombrices anquilostoma y esquistosoma o caracol de agua (en 3

semanas), tenias y ascárides son eliminadas por completo, si se deja secar al sol el cieno de fermentación.

Para interrumpir el círculo de reinfección de las enfermedades gastrointestinales, que son la causa principal para el alto índice de mortalidad infantil en nuestro país, se recomienda la conexión de la letrina al canal alimentador del biodigestor (22).

Sintetizando, con la utilización de la tecnología del biogas, se pretende integrar los procesos productivos del agricultor, para así mejorar notablemente el uso de los recursos naturales existentes, dentro de un marco de protección agroecológico, salvaguardando así el equilibrio del ecosistema (19).

CAPITULO 2



3721

2. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS Y SUS USOS POTENCIALES.

La producción de biogas se obtiene gracias a la descomposición de materiales orgánicos, los cuales pueden ser humanos, vegetales o animales, en ausencia de oxígeno del medioambiente, de ciertas bacterias fermentadoras anaeróbicas y de otras condiciones básicas. Estas bacterias sintetizan una mezcla de gases conocidos como biogas (compuesto principalmente de gas metano y dióxido de carbono) y otro subproducto llamado bioabono (compuesto por el biof y el biosol), los cuales poseen excelentes propiedades combustibles y fertilizantes respectivamente.

En el Ecuador se encuentran alrededor de 40 biodigestores, construidos por el Instituto Nacional de Energía (I.N.E.), instalados en diversas regiones rurales del País donde la falta de disponibilidad de materia

prima (excretas animales) y las necesidades de una mejor producción agrícola son un factor general. Estos biodigestores han dado excelentes resultados, logrando en ciertos casos, el ahorro de aproximadamente el 100% de los combustibles fósiles, que normalmente eran empleados para cocinar, proveer iluminación y como combustible para motores (12).

2.1. Fermentación anaeróbica.

Los materiales orgánicos, como las plantas y el estiércol, se deterioran en la ausencia del aire por la acción de ciertas bacterias anaeróbicas (Psicrofílicas, mesofílicas, termofílicas, etc.), las cuales producen un gas inflamable. Por ejemplo, si una caña es introducida dentro de un exudado de un líquido sucio, las burbujas se liberarán, las cuales alcanzarán la superficie. Estas burbujas contienen un gas inflamable con un alto poder calorífico, el cual es llamado biogas. El biogas generado por las bacterias también es llamado por distintos nombres, en los que se incluye: gas de los pantanos, gas de los exudados y gas metano. El biogas está compuesto por una mezcla de gases, pero en su mayor parte consiste principalmente, como ya se mencionó en los temas anteriores, de metano (CH_4), el cual es inflamable, y dióxido de carbono (CO_2), el cual no es inflamable (6,8,16,22).

Este proceso de degradación natural de la materia orgánica y producción de biogas, puede ser usado con excelentes resultados por los agricultores, debido a que este gas no sólo produce una fuente de combustible, sino que a la vez es un excelente fertilizante y acondicionador del suelo; el cual al ser adicionado en el terreno a cultivar, destruye los portadores de enfermedades patógenas y parásitos (6).

Se pueden distinguir tres fases en la fermentación anaeróbica (gracias a procesos microbianos degradativos) en la producción de biogas:

- a. La fase de hidrólisis, solubilización o fermentativa,
- b. La fase ácida,
- c. La fase metanogénica (2,8,12,15,16,22,).

En la primera etapa conocida como hidrólisis, solubilización o fermentativa, los sólidos fermentables son transformados en compuestos solubles por un amplio grupo de microorganismos facultativos por medio de hidrólisis enzimática; principalmente las bacterias celulolíticas actúan sobre los polímeros orgánicos (carbohidratos, grasas, proteínas), desdoblándolos a fragmentos

TABLA 3

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DE FERMENTACION

Características del material de fermentación						
Clase de animal	Cantidad diaria			% del material de fermentación fresco		C/N
	Estiercol		Orina	% Materia Seca	% Materia Organica Sólida	
Material de fermentación	Aprox. Kg.	% Peso Vivo	% Peso Vivo	% Materia Seca	% Materia Organica Sólida	
Vacunos	8	5	4	16	13	25
Búfalos	12	5	4	14	12	20
Cerdos	2	2,5	3	17	14	13
Ovejas	1			30	20	30
Caballos	10			25	15	25
Gallinas	0,08			25	16	5
Humanos	0,5			20	15	2
Paja/Tamo					~80	70
Hojas/Pastos						35
Jacinto de agua	25 Kg/m ²			7	5	25

FUENTE: LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE. VIEWEG. AUS DER ARBEIT VON. GATE.

Fósforo (P), lo cual mejora el desarrollo radicular de las plantas (22).

Con una mezcla de biosol y biol se mejoran los rendimientos. La relación de los nutrientes que se obtiene de la mezcla del cieno líquido con el cieno sólido es de N: P₂O₅: K₂O = 1:0,5:1. Con un cieno de fermentación que tenga una baja relación C/N se obtienen mejores propiedades fertilizantes. En comparación con el estiércol fresco de animales es posible obtener un aumento del rendimiento en la producción del 5 al 15%. Buenas cosechas se obtienen sobre todo al aplicar de manera combinada el "compost" con cieno de fermentación (7,22).

Los efectos fertilizantes del bioabono dependen de la clase de cultivos y del suelo al que sean aplicados. Estudios de la GTZ han concluido que al abonar durante varios años con cieno de fermentación, ya sea líquido, sólido o ambos a la vez, se puede observar un mejoramiento de la estructura del suelo, el cual al aumentar la proporción de material orgánico, el suelo puede almacenar más agua (22).

La materia orgánica, que no es susceptible de convertirse en biogas, contribuye a los procesos de vida microbiana

degradándose y estabilizándose. Todo este material y los microorganismos forman un producto de la biodigestión que se denomina "Bioabono". Se puede definir al bioabono como un compuesto biológicamente estable, que no es susceptible de convertirse en biogas, se obtiene de un proceso de fermentación realizado en un digestor (depósito cerrado donde se introducen desechos mezclados con agua), el cual, debido a su forma permite una mejor asimilación en las plantas y por otro lado mejora la estructura de los suelos. El bioabono es un residuo orgánico inerte, e inodoro, rico en nutrientes como Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), y sin microorganismos patógenos, tales como salmonellas y Escherichia coli, lo que lo convierte en un producto altamente higiénico (14,15,18).

La composición del Bioabono varía de acuerdo al desecho utilizado, y en promedio un análisis en base seca es el siguiente:

TABLA 5

COMPOSICIÓN DEL BIOABONO

PH	7,5
Materia Orgánica	85,0%
Nitrógeno	4,3%
Fósforo	1,5%
Potasio	1,0%

FUENTE: BIOGAS ENERGIA Y FERTILIZANTES A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS. OLADE.

El bioabono tiene un aspecto de tierra con un alto contenido de materia orgánica podrida, olor característico del humus, no atrae moscas ni permite el desarrollo de larvas. Químicamente tiene sus elementos disponibles para la asimilación. Puede ser utilizado directamente o almacenarse para su uso posterior (13,14).

Cuando el bioabono sale del biodigestor, se pueden apreciar productos diferenciados por gravedad: nata, biol (líquido sobrenadante), y biosol (lodo digerido).



La cantidad de nata o espuma que se presenta en el bioabono depende de la cantidad de fibra que se use en la carga. Cuando esta se estabiliza, flota en la parte superior como una costra. Normalmente se usa secándolo y colocándolo como cama de animales estabulados, con la que se recicla poco a poco. También se lo puede aplicar directamente al suelo como cualquier compost, de preferencia alrededor de las plantas frutales.

El biol es el principal producto del bioabono, es el efluente líquido que se descarga frecuentemente de un digestor, el cual está constituido casi totalmente de los sólidos disueltos (nutrientes solubles) y agua, también está compuesto por 0,5 a 1,5% de sólidos en suspensión. Por medio de filtración y floculación se puede separar la parte líquida de la sólida, obteniéndose así un biofactor que promueve el crecimiento de los vegetales. Este efluente se puede aplicar al follaje mediante aspersion y a la semilla por imbibición o remojo. Se puede emplear para alimentar y fertilizar estanques de peces; como inóculo para otros digestores, formando con ello el 10% de la carga diaria; se utiliza también como abono foliar al 50%, previamente filtrado, también para remojar semillas al 25% y como enraizador.

TABLA 6

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIOL

COMPUESTO	BIOL(ng/gr)
Acido Indol Acético (AIA)	8,19
Giberalinas	Trazas
Tiamina (Vit. B1)	259
Riboflavina (Vit. B2)	56,4
Acido Fólico	6,71
Acido Pantoténico	142
Triptófano	26
Cianocabalamina (Vit.B12)	4,4
Piridoxina (Vit. B6)	8,6

FUENTE: MANEJO DE EFLUENTES. PROYECTO BIOGAS
UMSS – GTZ.

El biosol o lodo líquido constituye el lodo extraído del digestor y está formado por 10% de sólidos y 90% de líquidos ricos en nutrientes y minerales no solubles, este se halla en el fondo del depósito de bioabono; se acumula durante varios meses, para después utilizarlo 2 a 3 veces por año.

Para la utilización del biosol es mejor deshidratarlo y aplicarlo como compost una vez reforzado con Fósforo, la ventaja de ello es que es un producto terminado.

El biosol luego de tratado y oreado se lo emplea como abono orgánico enriquecido con fertilizantes químicos, además de actuar como estimulante del crecimiento radicular y parte aérea de las plantas.

TABLA 7

COMPOSICION QUIMICA DEL BIOSOL

M.S.	M.O.	C.O.	pH	N. TOTAL	P. TOTAL	K. TOTAL
(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)
6	35	18,45	7,3	5,07	1,1	1,67

FUENTE: MANEJO DE EFLUENTES. PROYECTO BIOGAS UMSS – GTZ.

Los residuos de la fermentación anaerobia de los desechos agropecuarios, como ya lo mencionamos anteriormente, presentan propiedades tanto para el mejoramiento del suelo como para el desarrollo de las plantas (19).

TABLA 8

COMPOSICION DEL BIOSOL EN RELACION AL BIOL Y AL
ESTIÉRCOL

Compuesto			Biol
Materia seca (%)	15,2	9,72	5,48
Materia orgánica total (%)	41,5	35,92	16,33
Materia Orgánica(%)	95,95	81,89	37,23
Nitrógeno (%)	3,8	5,07	3,52
Nitrógeno Amoniacal (mg/Kg)	17,24	15,3	37,8
Nitratos (mg/kg)	33,98	40,3	93
Fibra (%)	27,52	19,4	19,9

FUENTE: MANEJO DE EFLUENTES. PROYECTO BIOGAS
UMSS – GTZ.

Las ventajas de la utilización del bioabono las podemos resumir en las siguientes:

- Contiene elementos nutritivos: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), elementos menores;
- Activa los procesos microbiales del suelo;
- Actúa como regulador de la temperatura edáfica;

- Suministra productos de descomposición orgánica que incrementan el crecimiento de la planta;
- Representa una lenta y uniforme fuente de suministros de Nitrógeno (N);
- Favorece la formación de agregados del suelo reduciendo la plasticidad y la cohesión;
- Aumenta la capacidad de retención de agua;
- Aumenta la capacidad de intercambio iónico;
- Regula el pH a través del aumento en su capacidad tampón;
- Disminuye las pérdidas de nutrientes por volatilización y lixiviación;
- No posee olores desagradables ni permite la proliferación de larvas;
- Provee bacterias nitrificantes que permiten la rápida degradación de los elementos del suelo para favorecer su pronta absorción por la planta.

- La fermentación anaerobia nos provee de un abono higiénicamente mejorado (14).

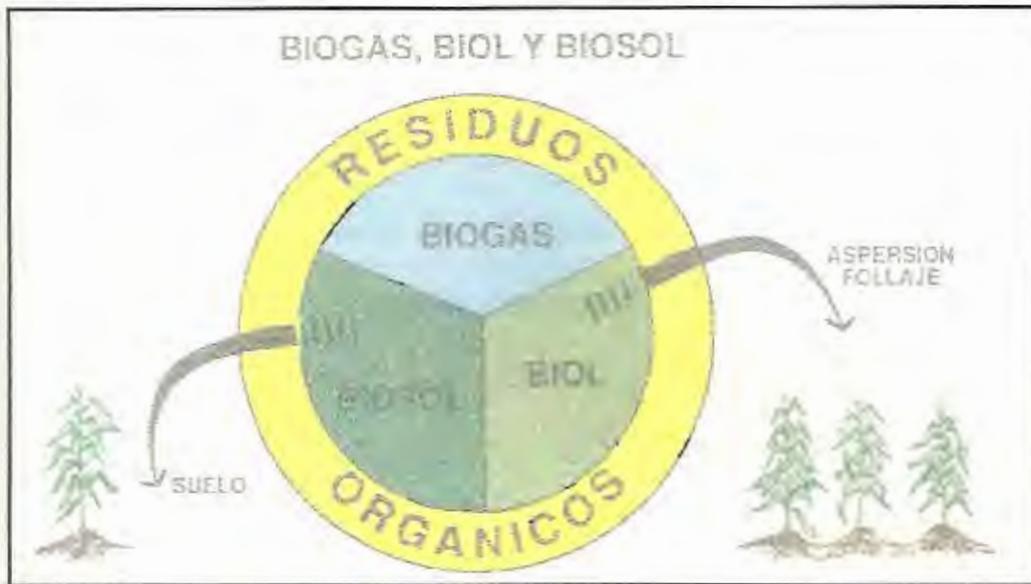


FIGURA 2.2. PRODUCCIÓN DE BIOGAS, BIOL Y BIOSOL; Y SU ACCIÓN SOBRE LAS PLANTAS. FUENTE: MANEJO DE EFLUENTES. PROYECTO BIOGAS UMSS – GTZ.

2.3. Como trabaja el biodigestor.

Todo el material que se degrada en el digestor esta compuesto de una mezcla, la cual contiene material orgánico (estiércol animal, desechos vegetales, etc.) y agua. El material a fermentar se prepara diariamente en el tanque de mezcla y medida, que forma parte del digestor. Debido a los principios de hidrostática (vasos

comunicantes), parte de la mezcla llamada afluente, sale a través del tubo de descarga, y llega al tanque de compensación y de vaciado. Este afluente queda a disposición del usuario para que sea utilizado cuando se necesite fertilizar (6,24).

Como se indicó en los temas anteriores, dentro del digestor hay muchos millones de bacterias anaeróbicas, las cuales se alimentan del material introducido, para así producir gas, lo cual deja como resultado de la fermentación, un residuo compuesto por materia orgánica y agua (bioabono). Las burbujas de gas que se producen por la degradación del material orgánico dentro del digestor, flotan hacia arriba y son depositadas dentro del depósito de gas; el cual si el biodigestor es de cúpula móvil, se levanta la campana flotante; ó si es un biodigestor de cúpula fija, se deposita el gas dentro de la cámara de almacenamiento del biodigestor o depósito de gas; para que luego el gas sea llevado hacia el exterior para su uso.

Cuando el gas del biodigestor es utilizado, el depósito de gas se mueve a su posición original (en el caso de que sea un biodigestor de campana flotante). En las plantas biodigestoras de cúpula fija, la presión de gas se alcanza por la acumulación de biogas (generado por la digestión anaeróbica) en la cámara de gas y decrece de acuerdo a la utilidad que se le dé.

Al quemarse el gas, produce una llama color azul claro, con un alto poder calorífico, el cual no es tóxico, virtualmente inodoro, y no provoca humo, además que es invisible a la luz del sol (6).

2.4. El biogas, su utilización.

El biogas, utilizado como combustible, está compuesto por metano y otros gases, el cual es un producto obtenido por la digestión anaeróbica de la materia prima orgánica (estiércol, heces fecales y desechos de agricultura), por acción de bacterias que aprovechan el fenómeno natural de degradación (11,14,15,23).

El biogas es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700° C (diesel 350° C, gasolina y propano cerca de los 500° C). La temperatura de la llama alcanza 870° C, y tiene un poder calorífico de 5500 – 7000 Kcal./m³ (2,12,23).

TABLA 9

VALORES PROMEDIO DEL PODER CALORÍFICO DE
DIFERENTES COMBUSTIBLES

Combustible	Kcal/m ³	Kcal/Kg	Equivale a 1000 m ³ de biogas
Biogas	5335		1000 m ³
gas natural	9185		581 m ³
Metano	8847		603 m ³
Propano	22052		242 m ³
Butano	28588		187 m ³
Carbón		6870	776 Kg
Petróleo		11357	470 Kg 553 lts
Combustible		10138	526 Kg 528 Lts

FUENTE: BIOGAS. ENERGIA Y FERTILIZANTE A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS. MANUAL PARA EL PROMOTOR DE LA TECNOLOGÍA. MA. ISABEL MANDUJANO A., ALFONSO FELIX A., ANA MARIA MARTINEZ. OLADE. CUERNAVACA MORELOS. MÉXICO 1981.

Taiganides (1980), afirma que las bacterias que son capaces de producir metano a través de la degradación de la materia orgánica, se encuentran en todo el mundo en condiciones naturales, por ejemplo en la materia en putrefacción y principalmente, en los excrementos humanos y animales (23).

La composición del Biogas está determinada por varios factores, entre los cuales podemos mencionar: el tipo de desecho utilizado, las condiciones en que se procesa (temperatura, acidez), la cantidad de agua que se utiliza. En promedio su composición es la siguiente (14):

TABLA 10

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BIOGAS

Componente	Formula química	Porcentaje
Metano	(CH ₄)	54 – 70%
Dióxido de Carbono	(CO ₂)	27 – 45%
Hidrógeno	(H ₂)	1 – 10%
Nitrógeno	(N ₂)	0,5 – 3%
Monóxido de carbono	CO	0,1%
Oxígeno	O ₂	0,1%
Ácido Sulfhídrico	(H ₂ S)	0,1%

FUENTE: APROVEITAMENTO DE RESIDUOS ORGANICOS PARA PRODUCAO E UTILIZACAO DE BIOGAS E FERTILIZANTES; MANUAL DE BIOGAS Y BIOABONO. HABILITACION. NIVEL OPERATIVO. INTECAP.

El biogas está compuesto principalmente por alrededor de 54 - 70% de metano (CH_4) y 27 - 45% de dióxido de carbono (CO_2). El biogas contiene mínimas cantidades de otros gases, entre estos, 0,1% de ácido sulfhídrico (H_2S) (7,14,23).

Entre más largo sea el tiempo de retención del material a degradar, mayor va a ser el contenido de metano y debido a esto aumenta el poder calorífico del biogas. Si existen tiempos de retención cortos, el contenido de metano disminuye hasta aproximadamente un 50%. Cuando el contenido de metano en el biogas es mucho menor del 50%, el biogas deja de ser inflamable. Siempre la primera producción de gas en una planta recién cargada contiene bajas concentraciones de metano, y por esa razón, el gas que se produce en los primeros 3 a 5 días se debe dejar escapar sin utilizarlo.

Hay una relación directa entre la temperatura de fermentación y el contenido de metano; por lo tanto, a bajas temperaturas de fermentación se obtiene un alto porcentaje de gas metano, pero menores cantidades de gas.

El porcentaje de metano depende del material de fermentación, alcanzando los siguientes valores aproximadamente (22):

TABLA 11

PORCENTAJE DE METANO SEGUN EL MATERIAL DE
FERMENTACIÓN

Material	Porcentaje
Boñiga	65
Estiércol de gallina	60
Estiércol de cerdo	67
Estiércol de establo	55
Paja	59
Pasto	70
Hojas	58
Desperdicios de cocina	50
Algas	63
Jacinto de agua	52

FUENTE: LA PLANTA DE BIOGAS. LUDWIG SASSE. VIEWEG.
AUS DER ARBEIT VON. GATE.

Como ya se ha mencionado anteriormente el metano (biogas) es un gas combustible, incoloro, parcialmente inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes.

Debido a su alto contenido de metano, el biogas es una fuente de energía, el cual puede ser utilizado en la cocina, en iluminación, refrigeración, motores de combustión interna, generación de calor, etc.

El biogas puede manifestar un suave olor característico de las fermentaciones anaerobias, esto se debe a los productos que le dieron origen y a la presencia de compuestos de azufre. Esto es una gran ventaja, ya que como no es molesto ni repulsivo, se puede notar su presencia en caso de pérdida o fuga (14).

2.5. Ventajas y desventajas del biogas.

Estas ventajas y desventajas han sido estimadas mediante un estudio realizado por las Naciones Unidas, en el año de 1986; en el cual se encontró que en un 95% de todas las plantas de biogas de tamaño familiar, el biogas es usado como una fuente combustible para cocina e iluminación. También se comprobó que el afluente proveniente de la planta es usado para la fertilización de los campos familiares, como ya ha sido anteriormente mencionado.

Es difícil cuantificar las ventajas y desventajas, ya que dependen del uso que se le dé a los biodigestores normalmente. En la práctica, usualmente se comparan las ventajas y desventajas de las plantas de biogas con respecto a otras fuentes combustibles y fertilizantes; por ejemplo, el gas es comparado con la quema de leña o el kerosene.

Todo este conjunto de ventajas y desventajas que tienen los biodigestores, se clasifican desde el punto de vista desde el cual son observadas o tomadas, por ejemplo, como familia individual, como una comunidad o como una nación. Se pueden considerar los siguientes puntos:

a. **A nivel Familiar:**

✧ **Ventajas:**

- ✧ Combustible limpio de rápida cocción;
- ✧ Provee buena iluminación;
- ✧ Mejora la salud (particularmente los ojos y los pulmones) por la eliminación de los gases combustibles, de la quema de leña, Kerex, etc;
- ✧ Mejora la sanidad (resultando en una mejor salud), particularmente si su servicio es adicionado;
- ✧ El bioabono es un buen fertilizante y acondicionador del suelo por el afluyente, resultando en mejores cultivos, y por ende mejores cosechas;

- Menor tiempo de consumo comparado con el tradicional combustible (sin tomar en cuenta el fuego proveniente de la madera o del estiércol endurecido de vaca).

❖ Desventajas:

- ✓ Alto gasto de capital inicial;
- ✓ Requiere de bastante ganado para dar suficiente estiércol para cumplir con el requerimiento de la planta instalada;
- ✓ Requiere agua, la cual en algunos lugares no se encuentra fácilmente disponible;
- ✓ La producción de gas se ve reducida durante los meses fríos, pero se la puede corregir con ayuda de colectores solares.

b. A nivel de la comunidad:

❖ Ventajas:

- ✓ Se mantienen en el país las divisas normalmente desperdiciadas en kerosene y fertilizantes;
 - ✓ Reduce la necesidad de consumo de la encarecida energía en las áreas rurales;
 - ✓ Salva los recursos no renovables;
 - ✓ Conservación de los bosques, de esa manera se puede prevenir la erosión del suelo, inesperadas inundaciones, deslizamientos de tierra y ríos obstruidos por aluviones en las llanuras;
 - ✓ Se reduce la contaminación ambiental por la utilización de recursos de energía limpia.
- ❖ Desventajas:
- ✓ Para la construcción de plantas de biogas se requieren de divisas, si es que sus materiales de construcción no se encuentran disponibles en el país (6).

Cada materia prima o material de carga (material de fermentación) se compone de:

➤ Sustancias sólidas orgánicas:

○ Materiales orgánicos de origen animal:

➤ Estiércol Porcino,

➤ Estiércol Vacuno,

Estiércol Avícola,

➤ Otros estiércoles, incluyendo heces humanas.

○ Materiales orgánicos de origen vegetal:

➤ Desechos de cosecha de trigo,

➤ Desechos de cosecha de arroz,

➤ Desechos de cosecha de maíz,

➤ Desecho de beneficiado de café,

fermentación, mayor facilidad tendrán las bacterias de llegar al material de fermentación fresco, logrando así, una aceleración del proceso de fermentación; y si se desea se puede agitar periódicamente para aumentar la producción de gas. Las relaciones de materia orgánica y agua es un factor importante que afecta la producción de gas metano, para lo cual, tanto el exceso como la falta de agua es perjudicial. La cantidad de agua siempre va a variar de acuerdo al material destinado a fermentar. En la tabla siguiente se podrá obtener las diferentes relaciones entre agua y estiércol (6,19,22).

TABLA 12

RELACION MATERIA PRIMA Y AGUA

Fuente de Estiércol	Cantidad Utilizada			
	Excretas	%	Agua	%
Porcino	1 parte	25	3 parte	75
Bovino	1 parte	50	1 parte	50
Avícola	1 parte	25	3 parte	75

FUENTE: MANEJO DE EFLUENTES. PROYECTO BIOGAS
UMSS – GTZ. COCHABAMBA – BOLIVIA. 1992.

espera que el metano presente en la generación sea superior al 60% (6,22).

La tabla adjunta nos permite conocer las relaciones de C/N que tienen las diferentes materias primas que se usan para la generación de gas metano.

La pureza de la mezcla es otro factor a tener en cuenta, por lo que deberá estar, en lo posible, exenta de materias inorgánicas. Para facilitar el trabajo de recolectar el estiércol y la orina, y así evitar la mezcla de estos con materiales inorgánicos, es recomendable estabular los animales.

TABLA 13

RELACION CARBONO : NITROGENO DE DIVERSOS
DESECHOS

MATERIAL	C:N
Desechos Animales	
Bovinos	18:1
Equinos	25:1
Ovinos	22:1
Porcinos	20:1
Aves	7,9:1
Excretas Humanas	3:1
Desechos Vegetales	
Paja de trigo	87:1
Paja de arroz	67:1
Rastrojo de maíz	53:1
Hojas secas	41:1
Rastrojo de soya	32:1

FUENTE: BIOGAS. ENERGIA Y FERTILIZANTES A PARTIR DE DESECHOS ORGANICOS. MANUAL PARA EL PROMOTOR DE LA TECNOLOGIA. OLADE: SERIE PUBLICACIONES ESPECIALES N°6.

3.2. Factores que afectan el diseño y producción de un biodigestor.

Existen diversos diseños de biodigestores alrededor del mundo, y cuando estos son bien diseñados, todos pueden tener un buen

rendimiento. Cuando las condiciones en un país son bastantes similares o uniformes, el mismo diseño puede ser usado en varios tamaños.

– **Factores sociales:**

– **Los beneficios de una planta de biogas:**

Gas, fertilizante (compost) e higiene, son los tres principales beneficios de los biodigestores. En la mayoría de los países en donde se ha incorporado la utilización de las plantas de biogas, el objetivo principal de la utilización de los biodigestores es para obtener gas, en lugar de aprovechar los otros beneficios que brindan los biodigestores como son: la producción de fertilizantes y la higiene que da el biodigestor, los cuales toman una importancia secundaria.

A lo largo de los años con el paso del tiempo, recién se va dando más importancia a los beneficios de la utilización de los biodigestores para la producción de fertilizantes, aunque la higiene es difícilmente considerada como objetivo principal. Los otros beneficios que podemos obtener de los biodigestores son la menor utilización de la madera como fuente combustible (leña) y para otros usos; y el incremento

utilizado. El digestor puede ser construido de muchos materiales distintos. Si hay una escasez en la zona o región de algún material donde se construirá el biodigestor, el diseño deberá ser cambiado.

❖ **La profundidad del nivel freático:**

Se conoce por nivel freático a la profundidad que puede alcanzar el nivel de agua en una excavación en la tierra. Cuando el agua sube a un punto cerca de la superficie del suelo, a esto se llama "sobre saturación del suelo o alto nivel freático". En la actualidad se cuenta con diseños especiales de biodigestores los cuales pueden trabajar en áreas con un alto nivel freático.

❖ **La cantidad de materiales a usarse:**

El biogas puede ser producido desde un muy amplio rango de materiales orgánicos vegetales y por todos los tipos de estiércol. La mayoría de las plantas de biogas que se utilizan actualmente son diseñadas para trabajar con cualquier tipo de estiércol.

las diferentes aplicaciones, según estudios de las Naciones Unidas, se la detallaremos a continuación:

Cocina:

La cantidad de gas que es requerida por las diferentes amas de casa por persona y por día varía de acuerdo a los siguientes factores:

- Tipo de comida;
- Número de comidas y aperitivos al día;
- Manera de cocinar los tipos de alimentos (tal como horneado, cocinado o fritura);
- Economía del combustible cuando se cocina para un gran número de personas;
- Reducir el tamaño de la flama de gas después de que una hoyo ha hervido (habilidades para cocinar).

La cantidad promedio de consumo de gas para cocina por comidas por persona por día es $0,3 \text{ mts}^3$,

Refrigeradoras, alrededor de 0,6 a 1,2 mts³ por mts³ del volumen del refrigerador por hora;

❖ **La producción de gas de los diferentes materiales utilizados:**

La producción de gas de los diferentes materiales depende de un número de factores, de los cuales se consideran seis puntos principales:

- La temperatura y el tiempo de retención;
- La operación de la planta;
- La producción de gas en climas fríos;
- La operación y mantenimiento del pH;
- El alimento dado a los animales;
- La salud de los animales.

Las bacterias son más activas y producen más gas a una temperatura de 35° C, cuando la temperatura desciende a 10° C la producción de gas se paraliza. Cincuenta días es el

promedio del tiempo de retención en la mayoría de los países tropicales, pero si el área es fría, el tiempo de retención podría verse incrementado entre 60 a 70 días. Es más confiable relacionar los cálculos de producción de biogas con los contenidos sólidos de los materiales de entrada. La información disponible de la producción de gas según los materiales de entrada y su cantidad de metano es presentada en las siguientes tablas:

TABLA 14

PRODUCCION DE GAS DE VARIOS TIPOS DE ESTIERCOL

Tipo de estiércol	Producción de gas por Kg de estiércol
Bovino y Búfalos	22 - 40 lts
Porcino	40 - 60 lts
Avícola	65,5 - 115 lts
Humano	20 - 28 lts
Desperdicios de cultivos tratados	34 - 40 lts
Jacinto de agua	40 - 50 lts

FUENTE: GUIDEBOOK ON BIOGAS DEVELOPMENT. ENERGY RESOURCES DEVELOPMENT SERIES. N° 21. UNITED NATIONS.

TABLA 15

PRODUCCION DE BIOGAS SEGUN LOS MATERIALES DE
ENTRADA

Material de entrada	Producción de biogas (mts ³ /ton contenidos sólidos)	Contenido de metano (%)
Estiércol de:		
Bovino	260 - 280	
Porcino	561	50 - 60
Equino	200 - 300	
Desperdicios de plantas:		
Maleza fresca	630	
Pedazos de lino o cañamo	369	70
Paja de trigo o maíz	432	59
Hojas verdes	210 - 294	58
Cáscara de arroz	615	
Desperdicios de alcantarillado	640	50
Desperdicios líquidos de alcohol	300 - 600	58
Componentes:		
Carbohidratos	750	49
Lípidos	1440	72
Proteínas	98	50

FUENTE: GUIDEBOOK ON BIOGAS DEVELOPMENT, ENERGY RESOURCES DEVELOPMENT SERIES, N° 21. UNITED NATIONS.

Se puede establecer que bajo las condiciones promedio (40 a 60 días de residencia) para producir 1 mts³ de gas por día las siguientes cantidades de estiércol podrían ser requeridas:

Estiércol de cerdo: 20 Kg por día

Estiércol de ganado: 32 Kg por día

Estiércol de aves de corral: 12 Kg por día

❖ **La cantidad de fertilizante esperado de la planta de biogas:**

Durante el proceso de formación de biogas en la planta algunos sólidos son descompuestos por las bacterias que se encuentran dentro del digester. Alrededor del 70% del total de sólidos introducidos en el biodigester puede esperarse que salga.

Este proceso de degradación de la materia orgánica no incrementa ningún nutriente fertilizante como el Nitrógeno (N), el Fósforo (P) o el Potasio (K). Lo que produce la digestión, sin embargo, es cambiar la forma de la parte de Nitrógeno (N), pero el afluente contendrá casi exactamente

las mismas cantidades de nutrientes como se introdujo en un principio.

❖ **La cantidad de estiércol que puede ser colectado por animal:**

La cantidad de estiércol que puede llegar a ser colectado en la finca depende de varios factores:

- Tamaño del animal;
- Dieta del animal y
- Grado de confinamiento (acuartelamiento) del animal.

La cantidad promedio de estiércol que producen los siguientes animales (estabulados) son:

- **Cerdos:** 2,5 a 3,5 Kg de estiércol al día,
- **Vacas:** 10 a 15 Kg de estiércol por día,
- **Búfalos:** 15 a 20 Kg de estiércol al día,
- **Pollos:** 90 g de estiércol al día.



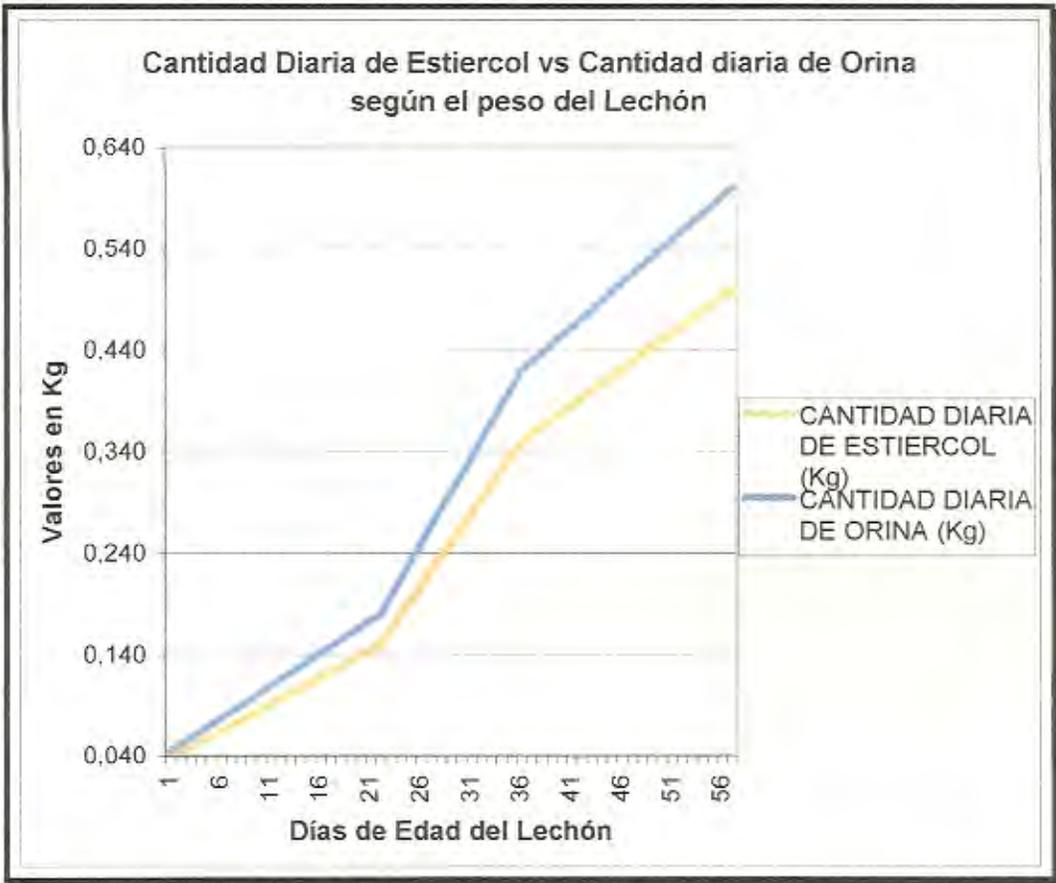


FIGURA 3.2. CANTIDAD DIARIA DE ESTIERCOL VS CANTIDAD DIARIA DE ORINA SEGÚN EL PESO DEL LECHON. FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR, BASÁDO EN EL LIBRO: PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL CERDO. DERECK H. GOODWIN. EDITORIAL ACRIBIA, S.A.

Como se pudo ver en la Tabla 16, la cantidad total de estiércol que producen los lechones al destete (20 Kg) de 56 días es de 14,663 Kg cada uno. Para efectos de cálculo de consumo, sólo

se tomarán en cuenta los lechones del primer parto, los cuales producirán:

$$250 \times 14,663 = 3665,75 \text{ Kg de excretas al destete}$$

Por lo tanto, el promedio de producción diario de excretas de los lechones que se obtendría en el periodo de destete de 8 semanas, será aproximadamente de:

$$3665,75 \text{ Kg} / 56 \text{ días} = 65,45 \text{ Kg de excretas / día}$$

- Los 62,5 cerdos que quedan para engorde al año, serán vendidos con un peso de 120 Kg aproximadamente, los cuales producirán excretas en relación con su peso en las cantidades que se muestran en la Tabla 17.

TABLA 17

GANANCIA DE PESO DIARIO Y PRODUCCIÓN DE EXCRETAS EN
CERDOS DE ENGORDE

Días	Peso Diario (Kg)	CANTIDAD DIARIA DE ESTIERCOL (Kg)	CANTIDAD DIARIA DE ORINA (Kg)
Destete	20,00	0,50	0,60
1	20,50	0,51	0,62
2	21,00	0,53	0,63
3	21,50	0,54	0,65
4	22,00	0,55	0,66
5	22,50	0,56	0,68
6	23,00	0,58	0,69
7	23,50	0,59	0,71
8	24,00	0,60	0,72
9	24,50	0,61	0,74
10	25,00	0,63	0,75
11	25,55	0,64	0,77
12	26,10	0,65	0,78
13	26,65	0,67	0,80
14	27,20	0,68	0,82
15	27,75	0,69	0,83
16	28,30	0,71	0,85
17	28,85	0,72	0,87
18	29,40	0,74	0,88
19	29,95	0,75	0,90
20	30,50	0,76	0,92
21	31,13	0,78	0,93
22	31,75	0,79	0,95
23	32,38	0,81	0,97
24	33,00	0,83	0,99
25	33,63	0,84	1,01

CONTINUA .

CONTINUACION

Días	Peso Diario (Kg)	CANTIDAD DIARIA DE ESTIERCOL (Kg)	CANTIDAD DIARIA DE ORINA (Kg)
26	34,25	0,86	1,03
27	34,88	0,87	1,05
28	35,50	0,89	1,07
29	36,19	0,90	1,09
30	36,88	0,92	1,11
31	37,57	0,94	1,13
32	38,26	0,96	1,15
33	38,95	0,97	1,17
34	39,64	0,99	1,19
35	40,33	1,01	1,21
36	41,02	1,03	1,23
37	41,77	1,04	1,25
38	42,52	1,06	1,28
39	43,27	1,08	1,30
40	44,02	1,10	1,32
41	44,77	1,12	1,34
42	45,52	1,14	1,37
43	46,27	1,16	1,39
44	47,05	1,18	1,41
45	47,82	1,20	1,43
46	48,60	1,21	1,46
47	49,37	1,23	1,48
48	50,15	1,25	1,50
49	50,92	1,27	1,53

CONTINUA

CONTINUACION

Días	Peso Diario (Kg)	CANTIDAD DIARIA DE ESTIERCOL (Kg)	CANTIDAD DIARIA DE ORINA (Kg)
50	51,70	1,29	1,55
51	52,49	1,31	1,57
52	53,28	1,33	1,60
53	54,07	1,35	1,62
54	54,86	1,37	1,65
55	55,65	1,39	1,67
56	56,44	1,41	1,69
57	57,23	1,43	1,72
58	58,02	1,45	1,74
59	58,81	1,47	1,76
60	59,60	1,49	1,79
61	60,39	1,51	1,81
62	61,18	1,53	1,84
63	61,97	1,55	1,86
64	62,76	1,57	1,88
65	63,55	1,59	1,91
66	64,34	1,61	1,93
67	65,13	1,63	1,95
68	65,92	1,65	1,98
69	66,71	1,67	2,00
70	67,50	1,69	2,02
71	68,29	1,71	2,05
72	69,08	1,73	2,07
73	69,87	1,75	2,10
74	70,66	1,77	2,12

CONTINUA

En las siguientes figuras se pueden observar los gráficos de la ganancia de peso diaria de los cerdos para engorde y la cantidad de excretas producidas.

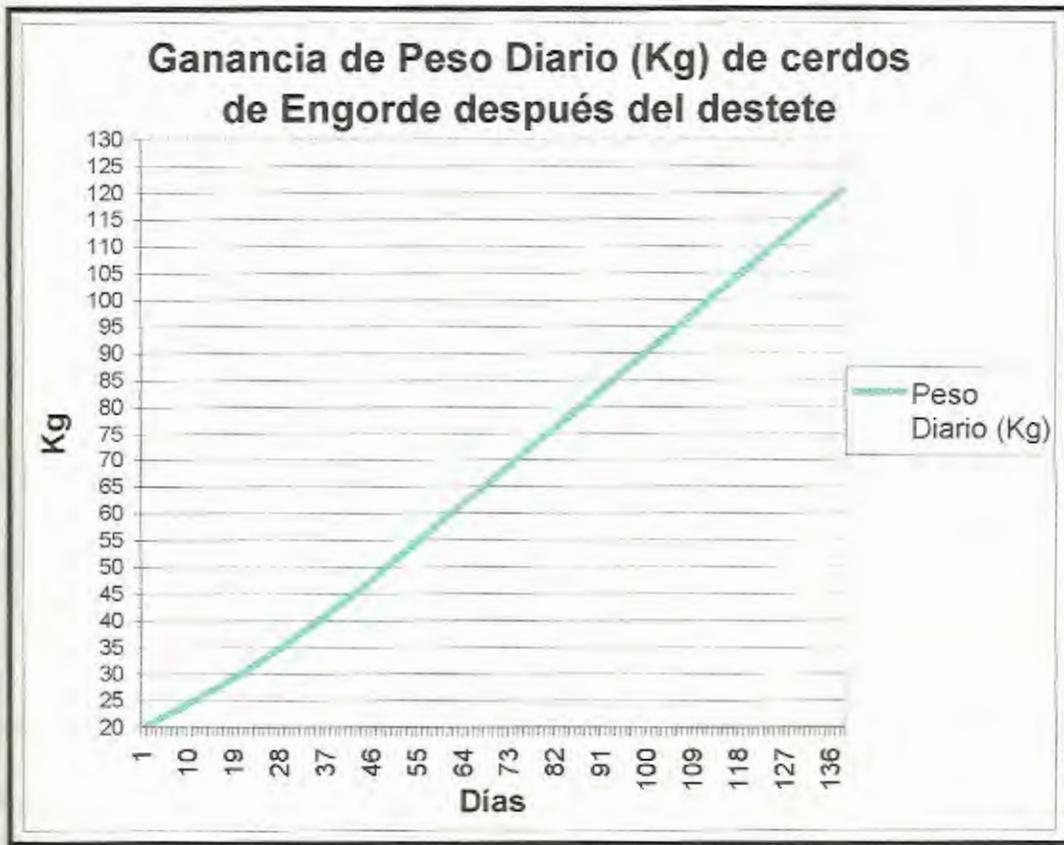


FIGURA 3.3. GANANCIA DE PESO (KG) DE CERDOS DE ENGORDE DESPUÉS DEL DESTETE. FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR, BASÁDO EN EL LIBRO: PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL CERDO. DERECK H. GOODWIN. EDITORIAL ACRIBIA, S.A.

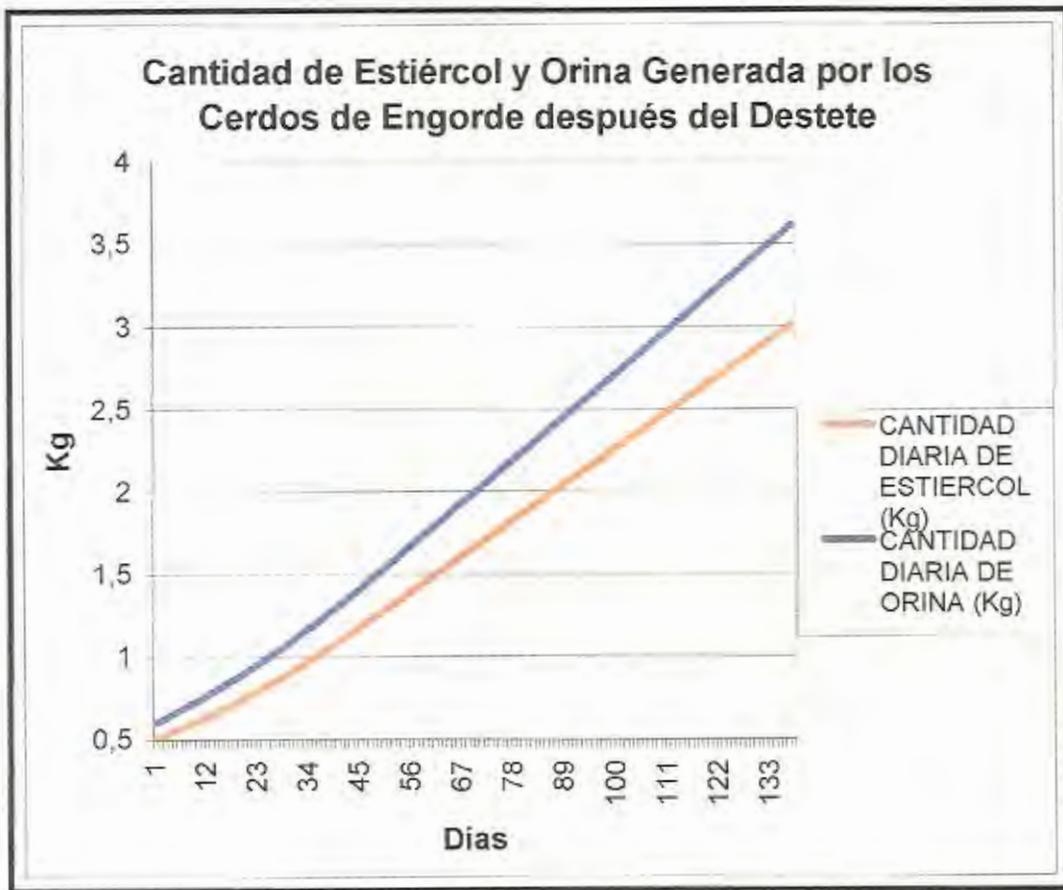


FIGURA 3.4. CANTIDAD DE ESTIERCOL Y ORINA GENERADA POR LOS CERDOS DE ENGORDE DESPUÉS DEL DESTETE. FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR, BASADO EN EL LIBRO: PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL CERDO. DERECK H. GOODWIN. EDITORIAL ACRIBIA, S.A.

Las 25 cerdas cubiertas por los dos machos producirán 250 lechones, dado que se ha estimado que cada cerda va a parir 10 lechones (tomando en cuenta la Tasa de Mortalidad), por lo tanto, las 25 cerdas procrearán 250 lechones. El 10% de los

lechones se los mantiene como cerdos de engorde, lo cual nos va a dar un total de 25 cerdos para engorde. Como se pudo ver en la Tabla 17, la cantidad total de estiércol que producen los cerdos de engorde (120 Kg), de 137 días aproximadamente, es de 231,96 Kg cada uno. Para efectos de cálculo de excretas, sólo se tomarán en cuenta los cerdos de engorde del primer parto (10% de cada parto), los cuales producirán:

$$25 \times 231,96 \text{ Kg} = 5799 \text{ Kg de excretas de los cerdos de engorde}$$

Por lo tanto, el promedio de producción diario de excretas de los cerdos de engorde que se obtendría en el periodo desde el destete hasta que llegue a los 120 Kg será aproximadamente de:

$$5799 / 137 = 42,33 \text{ Kg de excretas / día}$$

Una vez que hemos obtenido las cantidades de excretas que producen los animales por día, procedemos a sumar cada una de ellas para sacar un Total de excretas producidas (Cantidad de Material de Fermentación (E_d)) por día, por lo tanto tenemos:

- ✓ Cantidad de excretas producidas por las

cerdas: **75,00 Kg / día**

- ✓ Cantidad de excretas producidas por

los cerdos: **10,00 Kg / día**

- ✓ Cantidad de excretas producidas por los

lechones: **65,45 Kg / día**

- ✓ Cantidad de excretas producidas por los cerdos

de engorde: **42,33 Kg / día**

- ❖ **Cantidad de Material de**

Fermentación (E₁₁): **192,78 Kg / día**

Todo el Material de Fermentación va a ser movido por una persona, la cual se encargará de colocar el estiércol de los cerdos en el canal de eliminación de excretas y hacer el cieno de fermentación, dependiendo del número de animales y tamaño de éstos.



Después de haber calculado la Cantidad de Material de Fermentación (E_d) (cantidad total de excretas producidas), se procede a calcular la Cantidad de Cieno de Fermentación (C_f), para saber la cantidad de sustrato que va a consumir el biodigestor.

Para efectos de cálculo, se van a transformar los Kg de excretas a Litros (lts) en una proporción de 1:1, o sea, 1 Kg de estiércol va a ser igual a 1 lts de estiércol, por lo tanto, si tenemos 192,78 Kg de estiércol diario van a ser iguales a 192,78 lts de estiércol diario.

Para poder utilizar la fórmula de la Cantidad de Cieno de Fermentación (C_f), debemos saber la Relación de Mezcla de excretas con agua que se encuentra en la Tabla 12.

⊕ Como se va a utilizar excretas de porcino, la relación va a ser de 3 partes de agua para 1 parte de excretas.

Una vez que sabemos la Relación de Mezcla procedemos a calcular la Cantidad de Cieno de Fermentación (C_f) con la siguiente fórmula:

$$C_f \text{ (lts/d)} = E_d \text{ (Kg/d)} \times (\text{Relación Agua} + \text{Relación Estiércol})$$

$$C_f \text{ (lts/d)} = 192,78 \text{ Kg/d} \times (3+1)$$

$$C_f \text{ (lts/d)} = 771,12 \text{ lts/d}$$

El resultado obtenido nos va a representar la cantidad que consume el biodigestor, la cual es de **771,12 lts/d**.

Se necesitará de un tanque para agua con una capacidad de 1000 lts, para que se puedan almacenar los 578,34 lts de agua que se necesitaran para formar un cieno de fermentación de 771,12 lts/d. Para formar el cieno de fermentación, se van a dejar correr los 578,34 lts sobre el canal de eliminación de excretas, para que se mezcle con el estiércol depositado en dicho canal.

Para saber la cantidad de biogas que va a producir (producto principal), como resultado de la degradación anaeróbica del Cieno de Fermentación (C_f), debemos tomar en cuenta los factores antes mencionados, como son:

- Temperatura promedio: 26 – 28° C.
- Tiempo Técnico de Retención: 60 días.

Antes de calcular la cantidad de biogas que va a producir el biodigestor, debemos saber cual es la Producción Específica de Gas (G_d), para lo cual utilizaremos la Figura 3.5, en la cual observaremos curvas, obtenidas por investigadores de la GTZ, las cuales son un promedio entre valores de laboratorio y de la práctica.

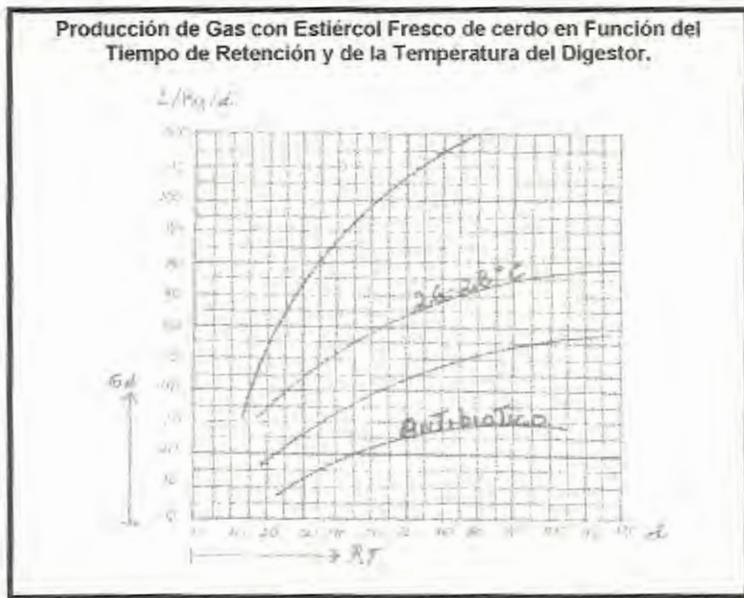


FIGURA 3.5. PRODUCCIÓN DE GAS CON ESTIÉRCOL FRESCO DE ESTIÉRCOL EN FUNCION DEL TIEMPO DE RETENCION Y DE LA TEMPERATURA DEL DIGESTOR. FUENTE: (22).

Como pudimos ver en la Figura 3.5. la Producción Específica de Gas (G_d) para una Temperatura promedio del digester de 26 – 28° C y un Tiempo Retención de 60 días es de **64 lts/Kg**, por lo que para una producción de excretas de 192,78 Kg/d, se va a obtener una Producción Diaria de Gas (G) de:

$$G = G_d \times E_d$$

$$G = 192,78 \text{ Kg/d} \times 64 \text{ lts/Kg} = 12337,92 \text{ lts/d de gas} = 12,33 \text{ m}^3/\text{d de gas}$$

Como lo dijimos en los capítulos anteriores los subproductos generados por el biodigester son: el biol y el biosol, los cuales constituyen el bioabono.

El biol es el efluente líquido subproducto de la fermentación de la materia orgánica; su producción dependerá de que dentro del biodigester se den las condiciones óptimas para la degradación de la materia. Su producción (al igual que la de biogas y biosol) empieza a partir de que el nivel del sustrato de alimentación ha llegado a cubrir los tubos de carga y de compensación en la parte interior del digester, para que así se pueda evitar la entrada de aire, y se logre un proceso anaeróbico.

El biol es el elemento líquido cuya producción una vez establecido y completado los tiempos de retención, captan una serie de ácidos pantoténico y fólico, adicional a las tiaminas, y que tendrán una gran influencia en el desarrollo y producción de los cultivos, su producción va a depender del volumen de carga, dado que en este sistema cuando la presión interna está equilibrada, la cantidad de biol que egresa del sistema es igual a la cantidad de materia prima que ingresa al sistema.

En el caso del biosol, este constituye el 10% de los sólidos que ingresan al sistema y que lo conforman minerales no solubles y líquidos ricos en nutrientes, normalmente se aconseja abrir el biodigestor una vez al año para hacer una limpieza de estos precipitados sólidos, que son el resultado de la fermentación anaeróbica. Se estima que las cantidades que se pueden obtener anualmente estarían ubicándose en el 5% de la carga total anual recibida.

3.4. Cálculos de carga.

Para poder calcular la cantidad de carga de gas que recibirá el biodigestor en las horas en que no se consuma el biogas producido, dependerá por un lado de la producción de gas y la

cantidad de gas que se utilice; y por otro del dimensionamiento que tenga el biodigestor, es decir la relación digestor – depósito de gas. Para poder obtener la cantidad de carga de biogas se van a necesitar los siguientes cálculos que se detallan a continuación:

Utilizando los datos obtenidos en el tema 3.3. (Cálculos de consumo, de los productos y subproductos generados en un Biodigestor), se podrán continuar los cálculos de carga; estos datos son:

- Material de Fermentación que vamos a utilizar va a ser estiércol de cerdos,
- La Cantidad de Material de Fermentación (E_d) producida por los cerdos es de 192,78 Kg/d,
- La Relación de Mezcla de estiércol: agua es de 1:3 respectivamente,
- La Cantidad de Cieno de Fermentación (C_f) es de 771,12 lts/d.
- La Temperatura Promedio del digestor de 26 – 28° C,
- El Tiempo Retención (TR) de 60 días,

- La Producción Específica de Gas (G_d) es de 64 lts/Kg, y
- La Producción Diaria de Gas (G) es de 12,33 m³/d de gas.

Una vez obtenidos los datos anteriores, se puede calcular el Volumen del Digestor (V_D), el cual se obtiene de la siguiente formula:

$$\bullet \quad V_D \text{ (lts)} = C_f \text{ (lts/d)} \times TR \text{ (d)}$$

$$\bullet \quad V_D \text{ (lts)} = 46267,2 \text{ lts}$$

El Volumen del Digestor (V_D) necesario para almacenar por 60 días una Cantidad de Cieno de Fermentación (C_f) de 771,12 lts/d, es de 46267,2 lts, es decir, 46,26 m³.

Para poder calcular la cantidad de gas que se utiliza debemos calcular la Producción de Gas por hora, por lo tanto nos va a dar:

$$\bullet \quad \text{Prod. Gas Hora (lts/h)} = G \text{ (lts/d)} / 24 \text{ (h)}$$

$$\bullet \quad \text{Prod. Gas Hora (lts/h)} = 12,33 \text{ m}^3/\text{d} / 24 \text{ (h)}$$

- **Prod. Gas Hora (lts/h) = 514,08 lts/h.**

Ahora para saber la cantidad de gas que se consume, debemos saber las horas entre las cuales se consume el gas y la duración del mismo, para lo cual tenemos la siguiente información:

- **Consumo de Gas entre: h**

5:00 - 8:00 (h)	3 h
11:00 - 13:00 (h)	2 h
18:00 - 21:00 (h)	3 h

- **Duración del consumo de gas = 8 h**

Con base en lo anterior y sabiendo que la producción de gas es constante, podemos obtener el Consumo de Gas por Hora mediante la siguiente fórmula:

- **Consumo Gas Hora (lts/h) = G (lts/d) / Duración Consumo Gas (h)**

- **Consumo Gas Hora (lts/h) = 12337,9 lts / 6h**

- **Consumo Gas Hora (lts/h) = 1542,24 lts/h**

Hay que tomar en cuenta que, mientras se consume gas se produce gas, por eso para el cálculo solo es importante la Diferencia entre la Producción y el Consumo de Gas (D_G), lo cual nos va a dar:

- $D_G \text{ (Its/h)} = \text{Consumo de Gas Hora (Its/h)} - \text{Prod. Gas Hora (Its/h)}$
- $D_G \text{ (Its/h)} = 1542,24 \text{ Its/h} - 514,08 \text{ Its/h}$
- $D_G \text{ (Its/h)} = 1028,16 \text{ Its/h}$

La Diferencia entre la Producción y el Consumo de Gas (D_G) nos sirve para calcular el Volumen necesario de Almacenamiento de Gas durante el Tiempo de Consumo [$V_G(1)$], el cual es:

- $V_G(1) \text{ (Its)} = D_G \text{ (Its/h)} \times \text{Hora de Mayor Consumo de Gas}$
- $V_G(1) \text{ (Its)} = 1028,16 \text{ Its/h} \times 3 \text{ h}$
- $V_G(1) \text{ (Its)} = 3084,48 \text{ Its}$

Para poder calcular el Volumen necesario para el Depósito de Gas [VG(2)], debemos saber cuantas horas hay en el Lapso de Horas de no Consumo de Gas, para lo cual calculamos:

- **Lapso más Largo de no Consumo de Gas: h** 21:00 - 5:00 (h)
- **Lapso más Largo de no Consumo de Gas = 8 h**

Teniendo el Lapso mas Largo de no Consumo de Gas, podemos calcular el Volumen necesario para el Depósito de Gas [VG(2)], el cual es:

- $V_G (2) (Its) = \text{Prod. Gas Hora (Its/h)} \times \text{Lapso más Largo de no}$

Consumo de Gas (h)

- $V_G (2) (Its) = 514,08 \text{ Its/h} \times 8 \text{ h}$

- $V_G (2) (Its) = 4112,64 \text{ Its}$

La Dimensión Necesaria para el Depósito de Gas [VG (2)] es la dimensión del depósito más grande y determinante, pero en este no se adiciona un recargo de seguridad por cualquier cambio en

En la Tabla 18 se podrán observar todos los cálculos de una manera continua:

TABLA 18

CALCULOS DE CARGA Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

Material de Fermentación:	Estiércol de Cerdos
Cantidad de Material de Fermentación (E_d): Kg/d	192,78 Kg/d
Relación de Mezcla: -Tabla	1 Estiércol 3 Agua
Cantidad de Cieno de Fermentación (C_f): lts/d	C_f (lts/d) = E_d (Kg/d) * (Relación Agua + Relación Estiércol)
Tiempo de Retención (TR): d	77 (12 lts/d)
Volumen del Digestor (V_D): lts	V_D (lts) = C_f (lts/d) * TR (d)
Temperatura del Digestor (t): °C	46267,2 lts 46.2672 m ³
Producción Especifica de Gas (G_d): lts/d - Tabla	1,4
Producción Diaria de Gas (G): lts/d	G (lts/d) = E_d (Kg/d) * G_d (lts/d)
Producción de Gas por Hora: lts/h	12237,9 lts/d Prod. Gas Hora (lts/h) = G (lts/d) / 24 (h)
	514,08 lts/h

CONTINUA

CONTINUACION

Consumo de Gas entre: h	5:00 - 8:00 (h)	3
	11:00 - 13:00 (h)	2
	18:00 - 21:00 (h)	3
Duración del Consumo de Gas: h		<u>8 h</u>
Consumo de Gas por Hora: Its/h	Consumo Gas Hora (Its/h) = G (Its/d) / Duración Consumo Gas (h)	1542,24 Its/h
Diferencia entre la Producción de Gas y Consumo (D _G): Its/h	D _G (Its/h) = Consumo de Gas Hora (Its/h) - Prod. Gas Hora (Its/h)	1028,16 Its/h
Volumen Necesario de Almacenamiento del Gas Durante el Tiempo de Consumo (V _G (1)): Its	V _G (1) (Its) = D _G (Its/h) * Hora de Mayor Consumo de Gas (h)	3084,48 Its
Lapso más Largo de no Consumo de Gas: h	21:00 - 5:00 (h)	4
Dimensión Necesaria para el Depósito de Gas sin Recargo de Seguridad (V _G (2)): Its	V _G (2) (Its) = Prod Gas Hora (Its/h) * Lapso más Largo de no Consumo de Gas (h)	4112,64 Its

CONTINUA

CONTINUACION

Dimensión del Depósito de Gas Con Recargo de Seguridad [25%] (V_G): lts	$V_G \text{ (lts)} = V_G \text{ (2) (lts)} * 25\%$	5140,8 lts
Capacidad de Almacenamiento Requerida (C_1):	$C_1 = Vg / G$	41,87 %
Relación Digestor / Depósito de Gas ($V_D : V_G$):	Relación Digestor / Depósito de Gas= V_D / V_G	9,00 :1



FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

3.5. Recomendaciones para una buena operación y funcionamiento de un biodigestor.

Para poder tener una buena operación y un mejor funcionamiento de un biodigestor, se deben previamente tomar en cuenta y llevar a cabo ciertos criterios para que permitan facilitar el cumplimiento de las operaciones y su eficiente funcionamiento en forma continua; estos criterios son los siguientes:

- ✓ La ubicación, este juega un papel importante para el fácil manejo, operación y funcionamiento del mismo, por lo que para

la selección del sitio de construcción del biodigestor se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Se debe ubicar cerca de la fuente de materia prima,
 - Debe situarse cerca de las fuentes de agua,
 - El biodigestor se deberá construir cerca de la vivienda o lugar donde se utilizará el biogas (hasta 200 mts de distancia) (13).
- ✓ Se debe de hacer un estudio de la disponibilidad de la materia prima y las necesidades de gas y bioabono de las familias a utilizar el biodigestor (18).
- ✓ Los materiales a suministrar periódicamente deben ser colocados dentro de los límites de tiempo establecidos y recomendados en el diseño (14).
- ✓ Hay que evitar en lo posible que el sustrato de alimentación esté compuesto por materiales que no son biodegradables, porque reducen el volumen utilizable de la cámara de fermentación.

- ✓ Para una mayor velocidad de producción de gas, en los primeros días se debe introducir un sustrato previamente fermentado (inóculo), en el cual se encuentren colonias de microorganismos vivos que aceleren el proceso de degradación de la materia prima que se está introduciendo, con lo cual se reduciría el tiempo de retención en el arranque al 50% (18).

- ✓ Se debe evitar filtraciones internas provocadas por el nivel freático (13).

- ✓ Todo el sistema debe estar libre de fugas, tanto de gas como de material de fermentación, para lo cual se deberá hacer una inspección interna del mismo, con el propósito de detectar y corregir las posibles fallas y problemas de construcción que se puedan presentar, por lo que necesariamente deberá impermeabilizarse las paredes mediante el uso de pinturas que contengan látex.

- ✓ Se deben aplicar recubrimientos anticorrosivos a las partes metálicas que puedan estar expuestas al ambiente y con el gas metano, visto que el contenido de azufre en el gas favorece la rápida corrosión del hierro dada la avidez que el hierro tiene por el azufre (14).



- ✧ La construcción deberá siempre responder a los criterios técnicos del diseñador (18).
- ✧ El terreno que se seleccione de preferencia debe ser estable y no encontrarse en fisuras naturales del suelo, ni cambios en las características del mismo, dado que estas producirían grandes tensiones con los cambios de humedad del mismo y que pueden resultar en la fractura del biodigestor.
- ✧ El agua que se utiliza para la limpieza y mezcla de las excretas que van al biodigestor, deberá tener un pH neutro, de preferencia.
- ✧ El agua para la limpieza y mezcla que va al biodigestor debe estar libre de sustancias químicas que alteren el pH del agua o que afecten directamente la vida de las bacterias anaeróbicas como es el caso del cloro y del yodo o antibióticos que se usan para la asepsia y control de enfermedades en la pira.

3.6. Diseño propuesto.

Una vez que hemos determinado el tamaño del biodigestor y el tamaño del depósito de gas, sabiendo a la vez la clase de material

a fermentar, podemos determinar la forma que queremos darle al digestor (22).

Para determinar las medidas que utilizaremos para diseñar el biodigestor, se utilizaran ciertas fórmulas realizadas por los investigadores de la G.T.Z., las cuales iremos mencionando a medida que se van presentando.

Antes de empezar con los cálculos para determinar las medidas, es conveniente observar la lámina dos, en la cual se facilitaran los nombres de las partes que vamos a ir detallando a continuación.

Para calcular el radio (R) que va a tener el domo del digestor vamos a utilizar la siguiente fórmula con la cual trabajan los investigadores de la G.T.Z.:

$$R = \sqrt[3]{(0,45V_D)}$$

$$R = \sqrt[3]{(0,45 \times 46,2672 \text{ mts}^3)}$$

$$R = 2,75 \text{ mts} = \mathbf{2,8 \text{ mts aproximadamente}}$$

Para poder trabajar con mayor facilidad, la medida del radio del domo (R) la vamos a aproximar hasta **2,8 mts**, a la vez que también nos permitirá almacenar un poco mas de mezcla en caso

$$r = \sqrt[3]{[\text{volumen} / (2/3\pi)]}$$

$$r = \sqrt[3]{[5,1408 \text{ mts}^3 / (2/3\pi)]}$$

$$r = 1,348 \text{ mts} = 1,35 \text{ mts aproximadamente}$$

Por otro lado, se aproximó el radio del tanque de compensación y variado a 1,35 mts para facilitar la elaboración.

Una vez calculada las dimensiones se establecerán los espesores y otras medidas, que no se describieron en las fórmulas anteriores, que van a tener las diferentes partes del biodigestor. Para facilitar el entendimiento de las partes del biodigestor, estas se detallaran en la lámina dos.

El espesor que tendrá el domo del digestor será de 0,15 mts. Por otro lado, el espesor que tendrá el fondo del digestor será de 0,10 mts. El fondo rocoso tendrá un espesor de 0,20 mts. El digestor constará de un anillo fuerte que tendrá una dimensión de 0,20 mts x 0,20 mts, y este a su lado tendrá un refuerzo con cuatro varillas de $3/8''$ a una distancia entre ellas de 0,12mts x 0,12 mts. El anillo fuerte va a tener un refuerzo superior de forma triangular, el cual tendrá 0,20 mts de base, y el ángulo de la base será de 60°.

este largo se colocará un reductor de 1" a ½", para colocar un tubo de hierro galvanizado de ½" a una distancia de 0,40 mts. Las dimensiones de la tapa interna se detallaran en la lámina cuatro.

La caja de la válvula de seguridad de gas va a ser de forma cúbica, la cual va a tener un espesor de 0,08 mts en cada uno de sus cinco lados. Cada lado va a medir 0,62 mts. La tubería de gas va a estar a una distancia de 0,03 mts con respecto al fondo de la caja de la válvula de seguridad de gas. La distancia entre la escotilla y la válvula de seguridad de gas va a ser de 0,60 mts.

La caja de carga va a contar con un fondo de hormigón, el cual va a tener un espesor de 0,08 mts y un fondo rocoso también de 0,08 mts. Este fondo tendrá una inclinación de 5°. El lado más corto tendrá una distancia de 1 mts, el ancho de cada lado va a ser de 0,80 mts. La tubería de 8" de diámetro que comunica la caja de carga con el digestor, va a tener una inclinación de 50°, con un largo de 1,9 mts aproximadamente. Esta caja de carga también va a contar con una tubería de 8" de diámetro, de aproximadamente 1 mts de largo, la cual se unirá con el canal de limpieza de las cochineras, en el cual se colocará la mezcla preparada. La distancia entre la caja de carga y la caja de la válvula de seguridad de gas es de 1,44 mts.

En el diseño se propone el empleo de tres tanques de compensación y vaciado, para que así, en el último tanque de compensación y vaciado llegue un biol más líquido, además que esto ofrece una mayor capacidad de almacenamiento de biol, en el caso de que éste no se recoja muy seguido. Estos tres tanques de compensación y vaciado van a estar comunicados por una tubería de 8" de diámetro de un largo de 0,40 mts aproximadamente, a una altura de 0,56 mts. El primer tanque de compensación y vaciado va a comenzar a traspasar el biol cuando alcance un volumen de $1,146 \text{ mts}^3$ aproximadamente, y a este mismo volumen va a comenzar a traspasar el biol del segundo tanque de compensación y vaciado hacia el siguiente tanque. Cuando el tercer tanque de compensación y vaciado llegue a almacenar un volumen de $1,146 \text{ mts}^3$ aproximadamente, éste se irá por un tubo de drenaje de 8" de diámetro colocado a una altura de 0,56 mts sobre la base del tanque de compensación y vaciado, éste tubo de drenaje tendrá un largo de 6 mts aproximadamente, el cual permitirá que el biol llegue al canal de riego, para que de esta manera se pueda ferti-irrigar los cultivos cercanos.

El domo del tanque de compensación y vaciado va a tener un espesor de 0,10 mts, la escotilla va a medir 0,40 mts de largo desde el centro del domo hasta el nivel de referencia, esta también

va a tener un espesor de 0,10 mts. El diámetro interno de la escotilla va a ser de 0,68 mts. La distancia entre la escotilla del digestor y la escotilla del tanque de compensación y vaciado va a ser de 3,58 mts. El fondo del tanque de compensación y vaciado va a tener una inclinación de 2° y este fondo estará formado primero por un fondo de hormigón de 0,08 mts de espesor, con un diámetro de 1,55 mts, y también estará formado por un fondo rocoso de 0,08 mts de espesor con un diámetro de 1,55 mts.

Algún dato que no se haya detallado con suficiente claridad, se va a poder explicar mejor en la lámina tres y cinco, en las cuales se detalla el diseño propuesto.

La cantidad de materiales y mezclas que se van a utilizar en el digestor, van a ser detalladas por partes en los párrafos a continuación:

- **DIGESTOR:**

• **Materiales:**

En la Tabla 19 se puede observar la cantidad de materiales básicos para la construcción del digestor. Vale recalcar que la cantidad de agua que necesitará no se detalla en esta

Dimensión del ladrillo: 10 cm x 20 cm x 5 cm.

Los ladrillos se van a pegar con la cara hacia el interior que tiene un área de:

$$0,05 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts} = 0,01 \text{ mts}^2,$$

La cantidad de ladrillos que se va a necesitar por mts^2 será de:

$$0,01 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ ladrillo}$$

$$1 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 100 \text{ ladrillos}$$

Se van a poner los ladrillos en el domo:



Esta tiene un área de:

$$\text{Área} = 2\pi r^2$$

$$\text{Área} = 2\pi(2.875)^2$$

Área = 52 mts² aproximadamente.

Cantidad de ladrillos para el domo.

1 mts² → 100 ladrillos

52 mts² → X?

X = 5200 ladrillos.

Los ladrillos se van a pegar con una mezcla de cemento:
cal: arena (1:¼:4).

Según datos de proyectos realizados en la Escuela Agrícola
Panamericana (E.A.P.) "El Zamorano" por el Ing. Marcelo
Espinosa, se estimó que 1 saco de cemento de 50 Kg pega
2 mts² de ladrillos.

2 mts² → 1 saco de cemento

52 mts² → X?

X = 26 sacos de cemento.

Debido a que la cal también se vende en sacos de 50 Kg, la
cantidad de cal que vamos a tener que utilizar para los 52

Para la lechada del domo se va a utilizar una relación de agua: cemento de 1:1.

Por datos obtenidos en prácticas de la E.A.P. "El Zamorano", se calculó que en 35 mts^2 de una lechada de $\frac{1}{4}$ " de espesor se van a utilizar 8 sacos de cemento, por lo tanto si tenemos un área de 52 mts^2 , vamos a utilizar:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 8 \text{ sacos de cemento}$$

$$52 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 12 \text{ sacos de cemento}$$

Como se van a utilizar dos lechadas de $\frac{1}{4}$ " de espesor, se utilizarán 12 sacos de cemento más.

Como la relación de mezcla de agua: cemento es de 1:1, la cantidad de agua que se va a utilizar para la lechada del domo va a ser igual a la cantidad de cemento, por lo tanto es de:

$$8 \text{ sacos de cemento} \longrightarrow 0,25 \text{ mts}^3$$

$$12 \text{ sacos de cemento} \longrightarrow X?$$

El área exterior del domo se va a repellar con un espesor de 1". Como habíamos dicho anteriormente, que para un repello de 1" de espesor, se van a utilizar 2 mts³ de mezcla (1:3 de cemento: arcilla, respectivamente), por lo tanto la cantidad de mezcla a necesitar para el repello exterior del domo va a ser de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 2 \text{ mts}^3$$

$$53 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 3 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

Entonces la cantidad de materiales a necesitar para una mezcla de 1:3 de cemento: arena respectivamente, va a ser de:

$$3 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,75 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

$$3 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = 2,25 \text{ mts}^3 \text{ de arena}$$

La cantidad de cemento a necesitar va a ser de:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,75 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 24 \text{ sacos de cemento}$$

El fondo de hormigón o solera se va a hacer con una mezcla de cemento: grava: arena (1:3:3).

El área del fondo de hormigón o solera va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 6 \text{ mts} \times 0,75 \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 28,27 \text{ mts}^2$$

El fondo de hormigón va a tener un grosor de 0,1 mts, por lo tanto va a dar un volumen de:

$$\text{Volumen} = \text{área} \times H$$

$$\text{Volumen} = 28,27 \text{ mts}^2 \times 0,1 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 2,82 \text{ mts}^3 = 3 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente.}$$

La cantidad de materiales de la mezcla 1:3:3 (cemento: grava: arena) para 3 mts^3 va a ser de:

$$3 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{7} = 0,43 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente de cemento.}$$

$$3 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{7} = 1,29 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente de grava.}$$

$$3 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{7} = 1,29 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente de arena.}$$

Utilizando la relación de que en $0,25 \text{ mts}^3$ de cemento hay 8 sacos de cemento, vamos a tener que:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos de cemento}$$

$$0,43 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 14 \text{ sacos de cemento aproximadamente.}$$

La relación que hay entre el agua y el cemento es de 1:2 respectivamente, por lo tanto se va obtener una cantidad de agua de:

$$1 \text{ mts}^3 \text{ de cemento} \longrightarrow \frac{1}{2} \text{ mts}^3 \text{ de agua}$$

$$0,43 \text{ mts}^3 \text{ de cemento} \longrightarrow X?$$

$$X = 0,215 \text{ mts}^3 \text{ de agua.}$$

El Fondo del digestor va a ser repellado con una mezcla de cemento: arena (1:3) de $\frac{1}{2}$ " de espesor.

El área del fondo del digestor repellado va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 5,9 \text{ mts} \times 0,7 \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 26 \text{ mts}^2$$

Si sabemos que con la relación de mezcla de cemento: arena (1:3) se utiliza 8 sacos de cemento en 35 mts^2 de mezcla de $\frac{1}{2}$ " de espesor, por lo tanto tenemos:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 8 \text{ sacos de cemento}$$

$$26 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 5 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

Para saber la cantidad de arena que vamos a utilizar transformamos los sacos de cemento en mts^3 de cemento, por lo tanto tenemos:

8 sacos de cemento \longrightarrow 0.25 mts³

6 sacos de cemento \longrightarrow X?

X = 0,19 mts³ de cemento aproximadamente.

Como la relación de cemento: arena es de 1:3 respectivamente, la cantidad de arena que vamos a utilizar va a ser de:

$$0,19 \text{ mts}^3 \text{ de cemento} \times 3 = 0,57 \text{ mts}^3 \text{ de arena.}$$

El fondo base va a ser de roca, el cual va a tener un área de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 6,2 \text{ mts} \times 0,9 \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 35,1 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente.}$$

La cantidad de roca que se va a necesitar va a ser igual al volumen que tenga el fondo base, el cual va a tener un espesor de 0,2 mts, por lo tanto vamos a tener:

$$\text{Volumen} = 35,1 \text{ mts}^2 \times 0,2 \text{ mts}$$

Volumen = $7,02 \text{ mts}^3 = 7 \text{ mts}^3$ de roca aproximadamente.

El anillo fuerte, que se encontrará en la parte inferior del digestor, éste se va a hacer con una mezcla de cemento: grava: arena (1:2:3).

Para saber la cantidad de mezcla que se va a utilizar, necesitamos saber el volumen que va a tener el anillo fuerte, el cual va a ser:

$$\text{Volumen} = (r + R) \pi ah$$

$$\text{Volumen} = (2,8 \text{ mts} + 3,15 \text{ mts}) \pi \times 0,35 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 1,31 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

Como se va a utilizar una relación de cemento: grava: arena de 1:2:3 respectivamente, se va a necesitar una cantidad de materiales de:

$$1,31 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{6} = 0,22 \text{ mts}^3 \text{ de cemento aproximadamente.}$$

$$1,31 \text{ mts}^3 \times \frac{2}{6} = 0,44 \text{ mts}^3 \text{ de grava aproximadamente.}$$

$$1,31 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{8} = 0,66 \text{ mts}^3 \text{ de arena aproximadamente}$$

Como sabemos que $0,25 \text{ mts}^3$ de cemento van a ser igual a ocho sacos de cemento, la cantidad de cemento que vamos a necesitar va a ser de:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,22 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 7,04 \text{ sacos de cemento} = 8 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

La cantidad de agua necesaria de la mezcla en el anillo fuerte va a tener una relación de 1:2 (agua: cemento), por lo tanto la cantidad de agua necesaria va a ser de:

$$0,22 \text{ mts}^3 \text{ de cemento} \times \frac{1}{2} = 0,11 \text{ mts}^3 \text{ de agua}$$

En el anillo fuerte se van a utilizar varillas corrugadas de $\frac{3}{8}$ ", las cuales van a tener un largo de:

$$\text{Largo} = \text{Perímetro} = 2\pi r$$

$$\text{Largo} = 2\pi \times 3,15 \text{ mts}$$

Largo = 19,8 mts aproximadamente

Se van a utilizar 4 varillas de $\frac{3}{8}$ " , lo cual nos va a dar:

$19,8 \text{ mts} \times 4 = 79,2 \text{ mts}$ aproximadamente.

Cada varilla de $\frac{3}{8}$ " las venden con un largo de 12 mts, por lo tanto vamos a necesitar:

$79,2 \text{ mts} / 12 \text{ mts} = 6,6 \text{ varillas} = 7 \text{ varillas de } 12\text{mts de}$

$\frac{3}{8}$ " aproximadamente.

Se van a necesitar varillas lisas de $\frac{1}{4}$ " , para formar anillos que van a ir alrededor de las varillas de $\frac{3}{8}$ ". Cada anillo se va a poner a 0,1 mts de distancia entre cada uno, y en cada anillo se van a utilizar 0,54 mts de varilla.

El número de anillos va a ser de:

$19,8 \text{ mts} / 0,1 \text{ mts} = 198 \text{ anillos}$.

Cantidad de varilla a usarse:

$198 \text{ anillos} \times 0,54 \text{ mts} / \text{anillo} = 107 \text{ mts de varilla}$

* aproximadamente.

el cual es de 0,2 mts; por lo tanto, con las medidas anteriores, el volumen va a ser de:

$$\text{Volumen} = (19,8 \text{ mts} \times 0,4 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts})/2$$

$$\text{Volumen} = 1,6 \text{ mts}^3 / 2$$

$$\text{Volumen} = 0,8 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente.}$$

La cantidad de materiales, que se van a necesitar, según la relación 1:3:9 de cemento: cal: arena respectivamente, va a ser de:

$$0,8 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{13} = 0,06 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

aproximadamente.

$$0,8 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{13} = 0,18 \text{ mts}^3 \text{ de cal aproximadamente.}$$

$$0,8 \text{ mts}^3 \times \frac{9}{13} = 0,55 \text{ mts}^3 \text{ de arena aproximadamente.}$$

Como sabemos que en 0,25 mts³ hay 8 sacos de cemento, en 0,06 mts³ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,06 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 2 \text{ sacos de cemento aproximadamente.}$$

La cal al igual que el cemento se vende en sacos de 50 Kg,
por lo tanto la cantidad de sacos de cal va a ser de:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,18 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 6 \text{ sacos de cal aproximadamente.}$$

Para la construcción del anillo débil del digestor se deberá
usar una mezcla de cemento: cal: arena (1:3:15).

Para poder calcular la cantidad de mezcla que se va a
utilizar, necesitamos saber el radio de la cara externa del
anillo débil, el cual es de 2,2 mts aproximadamente, que nos
sirve para poder calcular el perímetro, el cual va a ser de:

$$\text{Perímetro} = 2\pi r$$

$$\text{Perímetro} = 2\pi \times 2,2 \text{ mts}$$

$$\text{Perímetro} = 13,82 \text{ mts}$$

Para poder calcular el volumen del anillo débil, necesitamos medir las dimensiones que va a tener este: ancho = 0,18 mts; alto = 0,04 mts, por lo tanto el volumen va a ser de:

$$\text{Volumen} = 13,82 \text{ mts} \times 0,18 \text{ mts} \times 0,04 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 0,01 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente.}$$

La cantidad de mezcla necesaria para el anillo débil, el cual tendrá una relación de 1:3:15 de cemento: cal: arena respectivamente va a ser de:

$$0,01 \text{ mts}^3 \times 1/19 = 0,00053 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

aproximadamente.

$$0,01 \text{ mts}^3 \times 3/19 = 0,0016 \text{ mts}^3 \text{ de cal aproximadamente.}$$

$$0,01 \text{ mts}^3 \times 15/19 = 0,008 \text{ mts}^3 \text{ de arena}$$

aproximadamente.

Sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, en $0,00053 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,00053 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,02 \text{ sacos de cemento aproximadamente.}$$

Como ya se indicó que la cal al igual que el cemento se venden en sacos de 50 Kg, por lo tanto la cantidad de sacos de cal va a ser de:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,0016 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,05 \text{ sacos de cal aproximadamente.}$$

Para la construcción del refuerzo lateral exterior del anillo débil, se va a necesitar una relación de 1:2:4 de cemento: cal: arena respectivamente.

Para poder conocer el volumen, se midió el radio externo del digestor hasta el refuerzo lateral del anillo débil, el cual es de 2,2 mts, para luego calcular el perímetro, el cual es de:

$$\text{Perímetro} = 2r\pi$$

$$\text{Perímetro} = 2 \times 2,2 \text{ mts} \times \pi$$

$$\text{Perímetro} = 13,82 \text{ mts aproximadamente.}$$

Para calcular el volumen se necesita conocer cuales son las dimensiones del refuerzo, el cual tiene de alto 0,32 mts, y de ancho 0,08 mts; por lo tanto, el volumen va a ser de:

$$\text{Volumen} = (13,82 \text{ mts} \times 0,32 \text{ mts} \times 0,08 \text{ mts})/2$$

$$\text{Volumen} = 0,35 \text{ mts}^3 / 2$$

$$\text{Volumen} = 0,18 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente.}$$

La cantidad de materiales, que se van a necesitar, según la relación 1:2:4 de cemento: cal: arena respectivamente, va a ser de:

$$0,8 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{7} = 0,026 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

aproximadamente.

$$0,8 \text{ mts}^3 \times \frac{2}{7} = 0,051 \text{ mts}^3 \text{ de cal aproximadamente.}$$

$$0,8 \text{ mts}^3 \times \frac{4}{7} = 0,1 \text{ mts}^3 \text{ de arena aproximadamente.}$$

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento,
en $0,026 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,026 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,83 = 1 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

La cal al igual que el cemento se vende en sacos de 50 Kg,
por lo tanto la cantidad de sacos de cal va a ser de:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,051 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 1,6 = 2 \text{ sacos de cal aproximadamente.}$$

Para darle mayor resistencia al refuerzo lateral del anillo débil, se van a incluir dentro del refuerzo dos varillas corrugadas de $\frac{3}{8}$ " , las cuales van a tener un radio aproximado de 2,13 mts, por lo tanto, el largo de las varillas de $\frac{3}{8}$ " va a ser de:

$$\text{Largo} = \text{Perímetro} = 2\pi r$$

$$\text{Largo} = 2\pi \times 2,13 \text{ mts}$$

$$\text{Largo} = 13,4 \text{ mts aproximadamente}$$

Se van a utilizar 2 varillas de $\frac{3}{8}$ " , lo cual nos va a dar:

$$13,4 \text{ mts} \times 2 = 26,8 = 27 \text{ mts aproximadamente.}$$

Cada varilla corrugada de $\frac{3}{8}$ " las venden con un largo de 12 mts, por lo tanto vamos a necesitar:

$$27 \text{ mts} / 12 \text{ mts} = 2,23 \text{ varillas} = 3 \text{ varillas de 12mts de}$$

$\frac{3}{8}$ " aproximadamente.

La escotilla de entrada del digestor va a tener forma cilíndrica, con un diámetro de 0,8 mts (hasta el centro de la estructura de ladrillo).

Para poder calcular la superficie de la escotilla (forma cilíndrica), se necesita saber la altura de la escotilla, la cual va a ser de: la 0,48 mts de alto en la parte más ancha; y de 0,52 mts en la parte más delgada, pero se va a utilizar la mitad de ésta altura, dado que el ancho que tiene (0,1 mts)

va a representar a la mitad de un ladrillo en la posición en que se va a colocar. Por lo tanto la superficie va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 0,4 \text{ mts} \times (0,48 + 0,26) \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 1,86 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

Los ladrillos se van a pegar con el lado de 0,1 mts x 0,05 mts hacia el interior. Por lo tanto el área del ladrillo va a ser de:

$$\text{Área del ladrillo} = 0,1 \text{ mts} \times 0,05 \text{ mts} = 0,005 \text{ mts}^2$$

El número de ladrillos para un área de 1,86 mts² va a ser de:

$$\text{Número de ladrillos} = 1,86 \text{ mts}^2 / 0,005 \text{ mts}^2$$

$$\text{Número de ladrillos} = 372 \text{ ladrillos.}$$

Sabemos que 1 saco de cemento pega 2 mts², por lo tanto, para 1,86 mts² se va a necesitar:

va a representar a la mitad de un ladrillo en la posición en que se va a colocar. Por lo tanto la superficie va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 0,4 \text{ mts} \times (0,48 + 0,26) \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 1,86 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

Los ladrillos se van a pegar con el lado de 0,1 mts x 0,05 mts hacia el interior. Por lo tanto el área del ladrillo va a ser de:

$$\text{Área del ladrillo} = 0,1 \text{ mts} \times 0,05 \text{ mts} = 0,005 \text{ mts}^2$$

El número de ladrillos para un área de 1,86 mts² va a ser de:

$$\text{Número de ladrillos} = 1,86 \text{ mts}^2 / 0,005 \text{ mts}^2$$

$$\text{Número de ladrillos} = 372 \text{ ladrillos.}$$

Sabemos que 1 saco de cemento pega 2 mts², por lo tanto, para 1,86 mts² se va a necesitar:

$$2 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ saco}$$

$$1,86 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,93 = 1 \text{ saco de cemento aproximadamente.}$$

A la escotilla de entrada se le va a poner un repelle de 1" con una relación de cemento: arena fina de 1:3 respectivamente. Sabemos que 1 mts³ de mezcla de repello puede cubrir 35 mts² con un espesor de 1/2", por lo tanto para un repello de 1" se van a necesitar 2 mts³ de mezcla para cubrir 35 mts². La cantidad de mezcla a necesitar va a ser de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 2 \text{ mts}^3$$

$$1,86 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,11 \text{ mts}^3 \text{ de mezcla aproximadamente.}$$

Entonces para una mezcla con una relación de cemento: arena fina de 1:3 respectivamente, la cantidad de material a utilizar va a ser de:

$$0,11 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,03 \text{ mts}^3 \text{ cemento aproximadamente.}$$

$$0,11 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = \mathbf{0,083 \text{ mts}^3 \text{ de arena fina}}$$

aproximadamente.

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, por lo tanto en $0,03 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,03 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,96 = \mathbf{1 \text{ saco de cemento aproximadamente}}$$

La escotilla también va a ser repellada por su parte exterior con una mezcla de cemento: arena con una relación de 1:3 respectivamente, con un espesor de 1".

El área de la parte exterior de la escotilla va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 0,5 \text{ mts} \times 1 \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 3,14 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

CAJA DE LA VALVULA DE SEGURIDAD DE GAS

• Materiales:

En la Tabla 20 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción de la caja de la válvula de seguridad de gas. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el biodigestor. A continuación de la Tabla 20 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 20

MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE LA CAJA DE LA VALVULA DE SEGURIDAD DE GAS

Materiales:	Unidad	Cantidad
Ladrillos (Fondo)	Unidad	19
Ladrillos (4 Paredes)	Unidad	59
Cemento (Pegar Ladrillos)	Sacos	1
Arena (Repellado)	mts ³	0,06
Cemento (Repellado)	Sacos	1

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

el cual va a tener una mezcla de cemento: arena con una relación de 1:3 respectivamente.

El área del fondo interior de la caja de la válvula de seguridad de gas va a tener un área de:

$$\text{Área} = (0.46 \text{ mts})^2$$

$$\text{Área} = 0,21 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

Sabemos que para un repello de $\frac{1}{2}$ " de espesor se va a utilizar 1 mts^3 de mezcla en 35 mts^2 , por lo tanto para $0,21 \text{ mts}^2$, la cantidad de mezcla va a ser de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ mts}^3$$

$$0,21 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,006 \text{ mts}^3$$

La cantidad de materiales que se va a ir en el repello de $\frac{1}{2}$ " en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va a ser de:

$$0,006 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,0015 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

$$\text{Área de las cuatro paredes} = 0,28 \text{ mts}^2 \times 4$$

$$\text{Área de las cuatro paredes} = 1,12 \text{ mts}^2$$

Los ladrillos en las paredes se van a pegar por el lado de 0,1 mts x 0,2 mts hacia la parte interior de la caja de la válvula de seguridad de gas.

El área de los ladrillos va a ser de:

$$\text{Área del ladrillo} = 0,1 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts}$$

$$\text{Área del ladrillo} = 0,02 \text{ mts}^2$$

La cantidad de ladrillos a utilizarse en las paredes va a ser de:

$$\text{Número de ladrillos} = 1,12 \text{ mts}^2 / 0,02 \text{ mts}^2$$

$$\text{Número de ladrillos} = 56 \text{ ladrillos}$$

La cantidad total de ladrillos que se va utilizar en la caja de la válvula de seguridad va a ser de **75 ladrillos**, los cuales se van a pegar con una cantidad de cemento de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ mts}^3$$

$$1,12 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,032 \text{ mts}^3$$

La cantidad de materiales que se va a ir en el repello de $\frac{1}{2}$ " en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va a ser de:

$$0,032 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,008 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

$$0,032 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = 0,024 \text{ mts}^3 \text{ de arena}$$

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, entonces en $0,008 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,025 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,008 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,256 = 0,26 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

La parte exterior de las paredes de la caja de la válvula de seguridad de gas también van a ser repelladas con $\frac{1}{2}$ " de

por, por lo tanto el área de las cuatro paredes a repellar
ser de:

$$\text{Área de 4 paredes} = (0,62 \text{ mts})^2 \times 4$$

$$\text{Área de 4 paredes} = 1,52 \text{ mts}^2$$

parte externa de las cuatro paredes de la caja de la
bomba de seguridad, como ya lo habíamos mencionado
anteriormente, también van a ser repelladas con una mezcla
de cemento: arena de 1:3 respectivamente, con un espesor
de $\frac{1}{2}$ " , para lo cual sabemos que 35 mts^2 es 1 mts^3 de
mezcla de 1 de cemento: 3 de arena, lo cual nos va a dar
la mezcla de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ mts}^3$$

$$1,52 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,043 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

la cantidad de materiales que se va a ir en el repello de $\frac{1}{2}$ "
en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va
a ser de:

Las paredes de la caja de carga van a tener una altura de 1 mts y un ancho de 0,7 mts, por lo que el área para las cuatro paredes va a ser de:

$$\text{Área} = 0,7 \text{ mts} \times 1 \text{ mts} \times 4$$

$$\text{Área} = 2,8 \text{ mts}^2$$

Los ladrillos serán pegados con el lado de 0,1 mts por 0,2 mts hacia el interior de la caja de carga. El área de los ladrillos va a ser de:

$$\text{Área del ladrillo} = 0,1 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts}$$

$$\text{Área del ladrillo} = 0,02 \text{ mts}^2$$

La cantidad de ladrillos que se necesitarán para las paredes de la caja de carga será de:

$$\text{Número de ladrillos} = 2,8 \text{ mts}^2 / 0,02 \text{ mts}^2$$

$$\text{Número de ladrillos} = 140 \text{ ladrillos}$$

La cantidad de cemento necesaria para pegar 140 ladrillos será de:

La cantidad de materiales que se va a ir en el repello de $\frac{1}{2}$ " en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va a ser de:

$$0,07 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,017 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

$$0,07 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = 0,052 \text{ mts}^3 \text{ de arena}$$

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, entonces en $0,017 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,025 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,017 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,544 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

La parte exterior de las paredes de la caja de carga también van a ser repelladas con $\frac{1}{2}$ " de espesor, por lo tanto el área de las cuatro paredes a repellar va a ser de:

$$\text{Área de 4 paredes} = 1 \text{ mts} \times 0,8 \text{ mts} \times 4$$

$$\text{Área de 4 paredes} = 3,2 \text{ mts}^2$$

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,023 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,736 \text{ sacos de cemento}$$

Con los cálculos de repello anterior, tenemos que la cantidad de material que se va a utilizar en el repellado de toda la caja de carga va a ser de:

$$\text{Total cemento} = 1,28 \text{ sacos} = 2 \text{ sacos}$$

aproximadamente

$$\text{Total arena} = 0,12 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

El fondo de la caja de carga se va a hacer con una mezcla de cemento: grava: arena con una relación de 1:2:3 respectivamente.

El fondo de la caja de carga tiene las siguientes dimensiones: 0,8 mts x 0,8 mts x 0,08 mts, por lo tanto el volumen va a ser de:

$$\text{Volumen} = 0,8 \text{ mts} \times 0,8 \text{ mts} \times 0,08 \text{ mts}$$

Volumen = $0,05 \text{ mts}^3$ aproximadamente

La cantidad de material para una mezcla de cemento: grava:
arena con una relación de 1:2:3 va a ser de:

$$0,05 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{6} = 0,008 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

aproximadamente

$$0,05 \text{ mts}^3 \times \frac{2}{6} = 0,02 \text{ mts}^3 \text{ de grava aproximadamente}$$

$$0,05 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{6} = 0,025 \text{ mts}^3 \text{ de arena}$$

aproximadamente

Sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, en
 $0,008 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,008 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,26 \text{ sacos de cemento aproximadamente.}$$

La cantidad de piedra que se va a utilizar para el fondo de
roca de la caja de carga depende de las dimensiones de

ésta, la cual tienen las siguientes medidas. 0,8 mts x 0,8 mts x 0,08 mts. por lo tanto el volumen de roca necesario para el fondo de roca de la caja de carga va a ser de:

$$\text{Volumen} = 0,8 \text{ mts} \times 0,8 \text{ mts} \times 0,08 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 0,05 \text{ mts}^3 \text{ de piedra aproximadamente}$$

- TANQUE DE COMPENSACIÓN Y VACIADO

- Materiales:

En la Tabla 22 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción del tanque de compensación y vaciado. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el biodigestor. A continuación de la Tabla 22 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 22

MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN
DEL TANQUE DE COMPENSACIÓN Y VACIADO

	Unidad	Cantidad
Paredes (3 Tanques)		
Cemento	Sacos	21
Ladrillos	Unidad	3696
Repello Interno (Paredes de los Tanques)		
Arena	mts ³	0,75
Cemento	Sacos	9
Repello Externo (Paredes de los Tanques)		
Arena	mts ³	0,855
Cemento	Sacos	9
Fondo de Hormigón (3 Tanques)		
Arena	mts ³	0,9
Cemento	Sacos	10
Grava	mts ³	0,6
Fondo de Rocoso (3 Tanques)		
Roca	mts ³	1,8
Escotilla (3 Tanques)		
Cemento	Sacos	3
Ladrillos	Unidad	414
Repelle Interno y Externo de la Escotilla (Paredes de los Tanques)		
Arena	mts ³	0,054
Cemento	Sacos	3

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

Las paredes del tanque de compensación y vaciado van a tener un radio de 1,40 mts, por lo tanto el área va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi r^2$$

$$\text{Área} = 2\pi \times (1,40 \text{ mts})^2$$

$$\text{Área} = 12,32 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

Dado que en el diseño se propone utilizar tres tanques de compensación y vaciado, el área total de las paredes va a ser de:

$$\text{Área total} = 12,32 \text{ mts}^2 \times 3$$

$$\text{Área total} = 37 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

Los ladrillos se van a pegar con el lado que mide 0,05 mts x 0,2 mts hacia el interior del tanque de compensación y vaciado. El área del ladrillo va a ser de:

$$\text{Área del ladrillo} = 0,05 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts}$$

$$\text{Área del ladrillo} = 0,01 \text{ mts}^2$$

La cantidad de ladrillos a necesitarse en la construcción de las paredes por tanques de compensación va a ser de:

$$\text{Número de ladrillos por tanque} = 12,32 \text{ mts}^2 / 0,01 \text{ mts}^2$$

Número de ladrillos por tanque = 1232 ladrillos

La cantidad total de ladrillos que se va a necesitar para construir las paredes en los tres tanques va a ser de:

Cantidad total de ladrillos = 1232 ladrillos x 3

en los tres tanques

Cantidad total de ladrillos = 3696 ladrillos

en los tres tanques

La cantidad de cemento para pegar los ladrillos de las paredes por tanque de compensación y vaciado va a ser de:

2 mts² → 1 saco de cemento

12,32 mts² → X?

X = 6,16 = 7 sacos de cemento aproximadamente

La cantidad de cemento para pegar los ladrillos de las paredes de los tres tanques va a ser de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ mts}^3$$

$$11,45 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,33 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

La cantidad de materiales que se van a necesitar en el repello de $\frac{1}{2}$ " en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va a ser de:

$$0,33 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,083 \text{ mts}^3 \text{ de cemento aproximadamente}$$

$$0,33 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = 0,25 \text{ mts}^3 \text{ de arena aproximadamente}$$

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, entonces en $0,083 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,083 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 2,66 = 3 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

Con los cálculos de repello anterior, tenemos que la cantidad de material que se va a utilizar en el repellado de la parte interna de tres domos va a ser de:

$$X = 0,38 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

La cantidad de materiales que se va a utilizar en el repello de $\frac{1}{2}$ " en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va a ser de:

$$0,38 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,095 \text{ mts}^3 \text{ de cemento aproximadamente}$$

$$0,38 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = 0,285 \text{ mts}^3 \text{ de arena aproximadamente}$$

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, entonces en $0,095 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,095 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 3,04 = 3 \text{ sacos de cemento aproximadamente}$$

Con los cálculos de repello de la parte exterior de cada domo del tanque de compensación y vaciado, tenemos que la cantidad de material que se va a utilizar en el repellado de tres tanques de compensación y vaciado va a ser de:

$$\text{Total cemento} = 3 \text{ sacos} \times 3 = 9 \text{ sacos aproximadamente}$$

Cantidad de arena para 3 tanques = $0,3 \text{ mts}^3 \times 3$

Cantidad de arena para 3 tanques = $0,9 \text{ mts}^3$ de arena

aproximadamente

Cantidad de agua para 3 tanques = $0,05 \text{ mts}^3 \times 3$

Cantidad de agua para 3 tanques = $0,15 \text{ mts}^3$ de agua

aproximadamente

La cantidad de material que se va a utilizar en el fondo rocoso de los tres tanques va a ser de:

$0,6 \text{ mts}^3 \times 3 = 1,8 \text{ mts}^3$ de roca aproximadamente

Para la construcción de la escotilla del tanque de compensación y vaciado se necesita sacar el área de la misma, la cual tiene un radio de $0,73 \text{ mts}$ y un alto de $0,3 \text{ mts}$, por lo tanto el área va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 0,73 \text{ mts} \times 0,3 \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 1,38 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

En la construcción de la escotilla del tanque de compensación y vaciado cada ladrillo se va a colocar con el lado de 0,05 mts x 0,2 mts hacia el interior de ésta. Entonces el área de cada ladrillo va a ser de:

$$\text{Área del ladrillo} = 0,05 \text{ mts} \times 0,2 \text{ mts}$$

$$\text{Área del ladrillo} = 0,01 \text{ mts}^2$$

Para un área de 1,38 mts² la cantidad de ladrillos por cada escotilla del tanque de compensación y vaciado va a ser de:

$$\text{Número de ladrillos} = 1,38 \text{ mts}^2 / 0,01 \text{ mts}^2$$

$$\text{Número de ladrillos} = 138 \text{ ladrillos por escotilla}$$

Por lo tanto la cantidad de ladrillos para las escotillas de los tres tanques de compensación y vaciado va a ser de:

$$138 \text{ ladrillos} \times 3 = 414 \text{ ladrillos para tres escotillas}$$

Área = $0,85 \text{ mts}^2$ aproximadamente

La parte interior de cada escotilla va a ser repellada con una mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente, con un espesor de $\frac{1}{2}$ " , para lo cual sabemos que 35 mts^2 es 1 mts^3 de mezcla de 1 de cemento: 3 de arena, lo cual nos va a dar una mezcla de:

$$35 \text{ mts}^2 \longrightarrow 1 \text{ mts}^3$$

$$0,85 \text{ mts}^2 \longrightarrow X?$$

$X = 0,024 \text{ mts}^3$ aproximadamente

La cantidad de materiales que se va a utilizar en el repello de $\frac{1}{2}$ " en la mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente va a ser de:

$$0,024 \text{ mts}^3 \times \frac{1}{4} = 0,006 \text{ mts}^3 \text{ de cemento}$$

$$0,024 \text{ mts}^3 \times \frac{3}{4} = 0,018 \text{ mts}^3 \text{ de arena}$$

Como sabemos que en $0,25 \text{ mts}^3$ hay 8 sacos de cemento, entonces en $0,006 \text{ mts}^3$ vamos a tener:

$$0,025 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,006 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,2 \text{ saco de cemento aproximadamente}$$

La parte exterior de cada escotilla del tanque de compensación y vaciado también van a ser repelladas con $\frac{1}{2}$ " de espesor, por lo tanto el área exterior de cada escotilla del tanque de compensación y vaciado va a ser de:

$$\text{Área} = 2\pi rh$$

$$\text{Área} = 2\pi \times 0,44 \text{ mts} \times 0,3 \text{ mts}$$

$$\text{Área} = 0,83 \text{ mts}^2 \text{ aproximadamente}$$

La parte externa de cada escotilla del tanque de compensación y vaciado, también van a ser repelladas con una mezcla de cemento: arena de 1:3 respectivamente, con un espesor de $\frac{1}{2}$ ", para lo cual sabemos que 35 mts^2 es 1 mts^3 de mezcla de 1 de cemento: 3 de arena, lo cual nos va a dar una mezcla de:

material que se va a utilizar en el repellado de cada escotilla del tanque de compensación y vaciado va a ser de:

Total cemento = 0,4 sacos = 1 saco aproximadamente

Total arena = 0,018 mts³ aproximadamente

La cantidad total de cemento y arena para el repello de los tres tanques de compensación y vaciado es de:

Total cemento (3 tanques) = 1 saco x 3 = 3 sacos

Total arena (3 tanques) = 0,018 mts³ x 3 = 0,054 mts³

Aproximadamente:

- TAPA DEL DIGESTOR

- Materiales:

En la Tabla 23 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción de la tapa del digestor. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el

biodigestor. A continuación de la Tabla 23 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 23

MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCION
DE LA TAPA DEL DIGESTOR

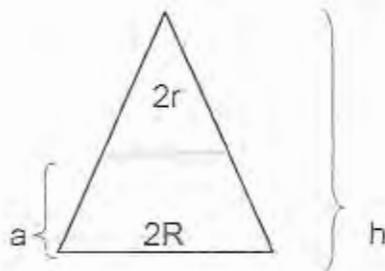
Material	Unidad	Cantidad
Cemento	Sacos	2
Varilla de 3/8"	12 mts	1

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

La tapa del digestor va a tener el siguiente volumen:

$$\text{Volumen} = \left(\frac{\pi h}{3}\right) \times (R^3 - r^3)$$

" h " significa la altura proyectada del cono truncado



$$R/r = h/(h-a)$$

Sabemos que $0,25 \text{ mts}^3$ son 8 sacos de cemento, entonces en $0,03 \text{ mts}^3$ tendremos:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,044 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 1,41 = 2 \text{ sacos aproximadamente}$$

El diámetro menor que va a tener la tapa del digestor va a ser de $0,58 \text{ mts}$. La tapa del digestor va a ser reforzada con varillas de $\frac{3}{8}$ " , las cuales se colocaran a $0,10 \text{ mts} \times 0,10 \text{ mts}$ de distancia cada una; por lo tanto en una tapa se irán 10 varillas entrecruzadas, las cuales sumaran un largo aproximado de 6 mts . Por lo tanto necesitaremos 1 varilla de $\frac{3}{8}$ " de 12 mts de largo aproximadamente.

Al momento de tapar el digestor, éste se va a sellar con una mezcla de cemento: arcilla (1:8), pero dado que las cantidades necesarias de cemento son tan pequeñas éstas no se van a tomar en cuenta en el inventario, porque se puede utilizar del cemento que sobra al construir las otras partes. La cantidad de arcilla que se estima comprar va a ser de 1 Kg (aunque se use mucho menos).

TAPA DE LA ESCOTILLA DEL DIGESTOR

- Materiales:

En la Tabla 24 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción de la tapa de la escotilla del digestor. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el biodigestor. A continuación de la Tabla 24 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 24

MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA TAPA DE LA ESCOTILLA DEL DIGESTOR

Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	Sacos	1
Varilla de 3/8"	12 mts	1

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

La tapa de la escotilla del digestor va a tener el siguiente volumen:

TAPA DEL TANQUE DE COMPENSACIÓN Y VACIADO

• Materiales:

En la Tabla 25 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción de las tapas de los tanques de compensación y vaciado. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el biodigestor. A continuación de la Tabla 25 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 25

MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TAPAS DE LOS TANQUES DE COMPENSACIÓN Y VACIADO

MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS TAPAS DE LOS TANQUES DE COMPENSACIÓN Y VACIADO		
Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	Sacos	3
Varillas de 3/8 "	12 mts	2

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

La tapa del tanque de compensación y vaciado va a tener el siguiente volumen:

$$\text{Volumen} = \pi r^2 h$$

$$\text{Volumen} = \pi \times (0,44 \text{ mts})^2 \times 0,05 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 0,03 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

Sabemos que $0,25 \text{ mts}^3$ son 8 sacos de cemento, entonces en $0,03 \text{ mts}^3$ tendremos:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,03 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,96 = 1 \text{ saco aproximadamente}$$

Como sabemos, se van a necesitar 3 tapas para los tanques de compensación y vaciado, por lo tanto la cantidad total de cemento a utilizarse va a ser de:

$$1 \text{ saco} \times 3 = 3 \text{ sacos (de cemento)}$$

El diámetro que va a tener la tapa del tanque de compensación y vaciado va a ser de 0,88 mts. La tapa del

tanque de compensación y vaciado va a ser reforzada con varillas de $\frac{3}{8}$ " , las cuales se colocaran a 0,10 mts x 0,10 mts de distancia cada una; por lo tanto en una tapa se irán 16 varillas entrecruzadas, las cuales sumaran un largo aproximado de 6 mts. Como sabemos que se construirán tres tapas, necesitaremos 18 mts de varillas, lo que será igual a 2 varillas de $\frac{3}{8}$ " de 12 mts de largo aproximadamente.

- TAPA DE LA CAJA DE LA VALVULA DE SEGURIDAD DE GAS

- Materiales:

En la Tabla 26 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción de la tapa de la caja de la válvula de seguridad de gas. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el biodigestor. A continuación de la Tabla 26 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 26

**MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA TAPA DE LA CAJA DE LA VALVULA DE
SEGURIDAD DE GAS**

TAPA DE LA CAJA DE LA VALVULA DE SEGURIDAD DE GAS		
Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	Saco	1
Varilla de 3/8"	12 mts	1

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

La tapa de la válvula de seguridad de gas va a tener el siguiente volumen:

$$\text{Volumen} = L \times L \times h$$

$$\text{Volumen} = (0,62 \text{ mts})^2 \times 0,05 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 0,02 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$

Sabemos que $0,25 \text{ mts}^3$ son 8 sacos de cemento, entonces en $0,02 \text{ mts}^3$ tendremos:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,02 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,64 = 1 \text{ saco aproximadamente}$$

La tapa de la válvula de seguridad de gas va a ser reforzada con varillas de $\frac{3}{8}$ " , las cuales se colocaran a 0,10 mts x 0,10 mts de distancia cada una; por lo tanto en una tapa se irán 10 varillas entrecruzadas, las cuales sumaran un largo aproximado de 6,2 mts. Por lo tanto necesitaremos **1 varilla de $\frac{3}{8}$ " de 12 mts de largo.**

• TAPA DE LA CAJA DE CARGA

• Materiales:

En la Tabla 27 se puede apreciar la cantidad de materiales que se van a necesitar para la construcción de la tapa de la caja de carga. Vale recalcar que la cantidad de agua que se necesita no se detalla en esta tabla, dado que en la Tabla 28 se mencionará el total de agua que se utilizará en todo el biodigestor. A continuación de la Tabla 27 se detallará como se obtuvieron los resultados de ésta.

TABLA 27

**MATERIALES NECESARIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE LA TAPA DE LA CAJA DE CARGA**

Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	Sacos	1
Varilla de 3/8"	12 mts	1

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

La tapa de la caja de carga va a tener el siguiente volumen:

$$\text{Volumen} = L \times L \times h$$

$$\text{Volumen} = (0,8 \text{ mts})^2 \times 0,05 \text{ mts}$$

$$\text{Volumen} = 0,03 \text{ mts}^3 \text{ aproximadamente}$$



Sabemos que $0,25 \text{ mts}^3$ son 8 sacos de cemento, entonces en $0,03 \text{ mts}^3$ tendremos:

$$0,25 \text{ mts}^3 \longrightarrow 8 \text{ sacos}$$

$$0,03 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,96 = 1 \text{ sacro (aproximadamente)}$$

La tapa de la caja de carga va a ser reforzada con varillas de $\frac{3}{8}$ " , las cuales se colocaran a 0,10 mts x 0,10 mts de distancia cada una; por lo tanto en una tapa se irán 14 varillas entrecruzadas, las cuales sumaran un largo aproximado de 11,2 mts. Por lo tanto necesitaremos 1 varilla de $\frac{3}{8}$ " de 12 mts de largo.

SELLADOR DE CONCRETO

Según datos de trabajos realizados en la Escuela Agrícola Panamericana (E.A.P.) "El Zamorano" se estimó que 1,25 galones de sellador de concreto se van a utilizar en 5 mts³ de repelle de 1" de espesor. El repelle de 1" de espesor lo vamos a utilizar en las siguientes partes del biodigestor:

Repelle interno del domo	3 mts ³
Repelle externo del domo	3 mts ³
Repelle interno de la escotilla de entrada	0,11 mts ³

Repelle externo de la escotilla de entrada 0,18 mts³

La cantidad de sellador de concreto que se va a utilizar en repello de 1" va a ser de:

$$5 \text{ mts}^3 \longrightarrow 1,25 \text{ gal}$$

$$6,29 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 1,60 \text{ gal aproximadamente}$$

Según los datos realizados en prácticas de la E.A.P. "El Zamorano", se sabe que 1,25 galones de sellador de concreto se van a utilizar en 10 mts³ de repelle de ½" de espesor. El repelle de ½" de espesor lo vamos a utilizar en las siguientes partes de biodigestor:

Repelle del fondo del digestor 1,04 mts³

Repelle del fondo interior de la caja

de la válvula de seguridad de gas 0,006 mts³

Repelle de la parte interna de las 4 paredes de la caja de la válvula de seguridad de gas	0,032 mts ³
Repelle de la parte externa de las 4 paredes de la caja de la válvula de seguridad de gas	0,043 mts ³
Repelle de la parte interna de las 4 paredes de la caja de carga	0,07 mts ³
Repelle de la parte externa de las 4 paredes de la caja de carga	0,091 mts ³
Repelle de la parte interna del domo del tanque de compensación y vaciado	0,33 mts ³
Repelle de la parte interna del domo del tanque de compensación y vaciado	0,33 mts ³

Repelle de la parte interna del domo	
del tanque de compensación y vaciado	0,33 mts ³
Repelle de la parte externa del domo	
del tanque de compensación y vaciado	0,38 mts ³
Repelle de la parte externa del domo	
del tanque de compensación y vaciado	0,38 mts ³
Repelle de la parte externa del domo	
del tanque de compensación y vaciado	0,38 mts ³
Repelle de la parte interior de la escotilla	
del tanque de compensación y vaciado	0,024 mts ³
Repelle de la parte interior de la escotilla	
del tanque de compensación y vaciado	<u>0,024 mts³</u>

La cantidad de sellador de concreto que se va a utilizar en repello de $\frac{1}{2}$ " va a ser de:

$$5 \text{ mts}^3 \longrightarrow 1,25 \text{ gal}$$

$$3,46 \text{ mts}^3 \longrightarrow X?$$

$$X = 0,9 \text{ gal aproximadamente}$$

La cantidad total de sellador de concreto va a ser de:

$$\text{Total} = 1,60 \text{ gal} + 0,9 \text{ gal}$$

$$\text{Total} = 2,50 \text{ gal de sellador de concreto}$$

> IMPERMEABILIZANTE HIDROSEAL BLANCO

Según datos realizados en la Escuela Agrícola Panamericana (E.A.P.) "El Zamorano" se estimó que 1 Kg de impermeabilizante hidroseal blanco se van a utilizar en 10 mts^2 .

El área en la cual se va a aplicar el impermeabilizante que se va a utilizar en el biodigestor va a ser de:

Domo del digestor

49,26 mts^2

Fondo del digestor	26 mts ²
Escotilla del digestor	1,86 mts ²
Domo del tanque de compensación y vaciado	11,45 mts ²
Domo del tanque de compensación y vaciado	11,45 mts ²
Domo del tanque de compensación y vaciado	11,45 mts ²
Fondo del tanque de compensación y vaciado	7,55 mts ²
Fondo del tanque de compensación y vaciado	7,55 mts ²

construcción, este proceso toma aproximadamente 30 días para que alcance su máxima resistencia, por lo que a partir de ese período, deberá llenarse de agua el biodigestor y continuamente hacer mediciones del volumen introducido para establecer la existencia o no de posibles fisuras en la construcción. El periodo de prueba deberá ser de al menos 21 días. Si al final de este periodo se establece la no-existencia de fugas, procederemos de inmediato y con el auxilio de una bomba a drenar dicho biodigestor para que quede preparado para la carga definitiva y en cuyo caso procederemos a sellarlo y completar la construcción, esto es, hacer las instalaciones de manómetros de agua y conducciones de gas hacia los tanques de almacenamiento (5).

Establecida la prueba hidrostática, podremos iniciar el proceso de carga utilizando la mezcla de agua con estiércol en peso manejando una relación de tres veces el peso en agua con respecto al de estiércol.

Si por alguna razón se llega a establecer que ha existido una variación en el pH, deberá tenerse presente que esta situación limitará la producción de gas, por lo que si se sale fuera del rango de pH entre 6.5 a 7.2, según el caso utilizaremos cal para bajar el

pH y si se trata de subirlo manejaremos una alimentación que incremente la acidez.

La alimentación del biodigestor deberá ser diaria teniendo en cuenta que una vez estabilizado el proceso de generación, la cantidad que ingresa de materia prima al biodigestor, será igual a la que egresa del biodigestor con el beneficio que este último se ha transformado en biol.

La mezcla que ingrese al biodigestor deberá ingresar al reactor mezclada previamente, esto es que las excretas deberán ingresar diluidas al sistema formando una emulsión con el agua y deberán estar libres de materiales extraños al proceso, como piedras, arenas, clavos, huesos, etc.

Evite en lo posible que las aguas lluvias se mezclen con el agua de alimentación, dado que esto podría afectar la generación de gas y en especial si se trata de lluvias ácidas.

Evite que en un área de alrededor 50 mts se siembre árboles dado que estos pueden afectar al biodigestor, sus raíces podrían romper y hacer colapsar al mismo.

Controle que las malezas no se introduzcan al biodigestor dado que estas pueden tener efectos negativos en la generación.

Para que la operación tenga el menor costo posible debemos tener presente que el buen mantenimiento de un equipo generador va a reducir sus costos de operación, por lo que se deberá de forma continua hacer evaluaciones que permitan establecer que el biodigestor está funcionando de acuerdo a las normas del diseño.

Entre los problemas que se puedan presentar y que requieren atención están las pérdidas de gas, la obstrucción de las cargas y descargas del biodigestor, el taponamiento de las líneas de conducción de gas metano.

En el proceso de mantenimiento deberá tomarse en cuenta que el gas metano es explosivo por lo que no deberá fumarse cerca del mismo.

Si por alguna razón es necesario ingresar al biodigestor, este deberá ser vaciado con la ayuda de una motobomba y utilizar sistemas de ventilación para evacuar gases y olores presentes, ya que estos podrían producir la muerte de los que ingresan sin las precauciones apropiadas a dar mantenimiento al mismo.

CAPITULO 4

4. EVALUACIÓN ECONOMICA DEL BIODIGESTOR.

Este capítulo se va a enfocar en las ventajas económicas que podemos obtener por la implantación de una planta de biogas, así como de los gastos a incurrirse en su construcción y mantenimiento.

4.1. Evaluación como proyecto.

La construcción de un biodigestor en el sector rural debe ser evaluado considerando no solamente un beneficio monetario, sino también un beneficio social.

En muchas áreas rurales los campesinos han estado dependiendo del uso de la leña para cocción de sus alimentos, lo que ha implicado una mayor cantidad de horas del ama de casa a la preparación de alimentos restando espacio para la atención de la familia o a las labores de mantenimiento de la granja.

Por otro lado, el área forestal aledaña a la finca ha estado recibiendo un impacto continuo que en corto tiempo va a resultar en una deforestación que traiga como consecuencia cambios en el microclima del área de afectación.

En algunos países se ha buscado como solución, donde no se tiene a la mano hatos ganaderos, la siembra de bosques energéticos que permitan en cortos períodos de tiempo disponer de materia prima para usos energéticos como la cocción de alimentos.

En los sectores rurales no se dispone de energía eléctrica o de caminos que permitan acceder con facilidad al uso de gas doméstico, lo cual implica que el nivel de vida es excesivamente limitado al desarrollo moderno actual, sin embargo existe la disponibilidad de tener hatos bovinos o piaras de cerdos, cuyas excretas manejadas correctamente permitirían la obtención de biogas adicional a fertilizantes. El uso de este biogas nos puede permitir generar energía eléctrica o directamente se lo puede usar para iluminación, cocción de alimentos o también para la preservación de los mismos haciendo adaptaciones de las refrigeradoras que funcionan con kerex.

Estos beneficios permitirían, en cierto grado, una mejora en la calidad de vida en el sector rural donde se utilicen los biodigestores.

4.2. Aporte de gas.

Como ya se ha manifestado, el gas generado en el biodigestor nos permite obtener energía para iluminación, cocción, calefacción o preservación de alimentos y su generación van a depender estrictamente del manejo del biodigestor. Un biodigestor es capaz de generar **6.02%** de biogas de su carga de estiércol diaria (la producción de estiércol diaria es de 192.78 Kg/d, y la producción de gas es de 11,6 Kg/d), por lo que esto está representando un ahorro económico en el orden de **\$ 665.27** al año (ver Tabla 33).

La cantidad de gas generada en el biodigestor no solamente representa un ahorro para la economía familiar, sino que adicionalmente está contribuyendo al mejoramiento del medioambiente y la salud familiar, lo que pocas veces puede ser cuantificado de manera directa, dado que cuando se trata de beneficio social, esta involucra a varios factores de análisis.

4.3. Aporte de Fertilizante.

Los biodigestores nos están produciendo una masa de bioabono o biosoles que por su composición favorecen al mejoramiento físico y químico del suelo, con un impacto favorable en el rendimiento de los cultivos, tal es así que en muchos casos se consiguen incrementos en la producción en el orden del 50%. El biol tiene 3,52% de nitrógeno, considerando que un biodigestor es capaz de generar 221.31 mts³ de bioles en un periodo de un año (**7790,16 Kg/N/año**), y que el precio que tiene el biol es de **\$ 0,05** cada galón (3,785 lts), significa que tendríamos un ahorro de fertilizantes nitrogenados [comúnmente urea (45% nitrógeno)], que representan **\$ 2923,53** al año.

El biosol tiene 5,07% de nitrógeno, considerando que un biodigestor es capaz de generar 14072,94 Kg de biosoles en un periodo de un año (**713,50 Kg/N/año**), y que el precio que tiene el biosol es de **\$ 0,02** cada Kilogramo, significa que tendríamos un ahorro de fertilizantes nitrogenados (comúnmente urea (45% nitrógeno)), que representan **\$ 263,46** al año.

Es importante dejar aclarado que la utilización de este tipo de Bioabonos o biofertilizantes son materiales aprobados en agricultura y certificaciones ISO 14000.

4.4. Aporte al Medioambiente.

Entre los beneficios que se pueden señalar de la construcción de un biodigestor en un plantel porcino, se pueden destacar los siguientes:

- Se reduce el uso de materiales fósiles por la producción de gas metano.
- Se disminuye sensiblemente los efectos de la deforestación por el uso y abuso de los recursos naturales maderables, para la cocción de alimentos y calefacción.
- Se logra un mejor control de los insectos que transmiten enfermedades de tipo gastrointestinal, ya que las excretas pasan directamente a los biodigestores y el contacto con moscas queda limitado a una incidencia muy reducida.

- Se evita y limita la generación libre a la atmósfera de gas metano, lo que afectaría directamente a la capa de ozono, cuando su producción es libre y espontánea.
- Se reduce la contaminación de las aguas subterráneas y las fluviales.
- La calidad del aire mejora sensiblemente y en consecuencia se reducen las infecciones respiratorias y las irritaciones nasales y visuales.
- El agua para consumo animal es mejorada dado que se reducen la presencia de nitratos las cuales reaccionan con aminos secundarias y terciarias en el estómago, que tienen un efecto carcinogénico.

4.5. Evaluación Económica.

En lo referente a la evaluación económica, aquí se va a tomar en cuenta todos los costos de inversión que se pueden incurrir en la construcción del biodigestor propuesto.

En la Tabla 28 se podrá observar la cantidad de los distintos materiales a utilizarse en la construcción de la planta de biodigestión.

En la tabla 29 se detallan los precios unitarios de todos los materiales que se utilizarán en la construcción del biodigestor, los cuales fueron tomados del boletín estadístico (Año 26, #6) de la Cámara de la Construcción de Guayaquil (C.C.G.).

En la tabla 30 se indica los salarios que se cancelarían por la construcción del biodigestor, los cuales se calcularon por días de trabajo realizados, estos cálculos se hicieron con la ayuda del Ing. Marcelo Espinosa quien tiene experiencia en construcción de biodigestores en la E.A.P. "El Zamorano".

TABLA 28

**CANTIDAD DE MATERIALES A UTILIZARSE EN LA
CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR**

Material	Unidad	Cantidad	Imprevisto	Cantidad total
Agua	mts ³	100	10%	110,00
Alambre galvanizado #12	lbs	10	10%	11,00
Arcilla	Kg	1	0%	1,00
Arena	mts ³	13	3%	13,39
Arena Fina	mts ³	3	3%	3,09
Cal	sacos (50Kg)	16	3%	16,48
Cemento	sacos (50Kg)	201	2%	205,02
Codo galvanizado 1/2"	unidad	3	0%	3,00
Conexión de manguera (macho)	unidad	2	0%	2,00
Grava	mts ³	3	3%	3,09
Impermeabilizante hidroseal blanco	Kg	14	10%	15,40
Ladrillos	millar	1	0%	1,00
Llave para gas de balin 1/2"	unidad	1	0%	1,00
Manguera transparente 1/2"	mts	1	0%	1,00
Reductor galvanizado 1" 1/2"	unidad	1	0%	1,00
Roca	mts ³	9	3%	9,27
Rollos de teflon	unidad	4	0%	4,00
Sellador de concreto	gal	3	10%	3,30
Tubería galvanizada 1"	mts	1	0%	1,00
Tubería galvanizada 1/2"	mts	3	0%	3,00
Tubo de drenaje 8"	mts	13	8%	14,04
Varilla de 1/4"	12 mts	9	0%	9,00
Varilla de 3/8"	12 mts	16	0%	16,00
Tanque cillindrico (1mts ³)	unidad	1	0%	1,00
Lija # 150	unidad	10	0%	10,00

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

TABLA 29

COSTOS DE MATERIALES

Material	Unidad	Precio	Cantidad total	Valor
Agua	mts ³	0,0108	110	\$1,19
Alambre galvanizado # 12	lbs	1,20	11	\$13,20
Arcilla	Kg	0,20	1	\$0,20
Arena	mts ³	6,34	13,39	\$84,89
Arena Fina	mts ³	6,73	3,09	\$20,80
Cal	sacos (50Kg)	4,00	17	\$68,00
Cemento	sacos (50Kg)	5,00	205	\$1.025,00
Codo galvanizado 1/2"	unidad	0,11	3	\$0,33
Conexión de manguera (macho)	unidad	1,99	2	\$3,98
Grava	mts ³	2,00	3,09	\$6,18
Impermeabilizante hidroseal blanco	Kg	0,81	16	\$12,96
Ladrillos	millar	16,00	1	\$16,00
Llave para gas de balin 1/2"	unidad	1,80	1	\$1,80
Manguera transparente 1/2"	mts	1,78	1	\$1,78
Reductor galvanizado 1" - 1/2"	unidad	0,32	1	\$0,32
Roca	mts ³	2,91	9,27	\$26,98
Rollos de teflon	unidad	0,11	4	\$0,44
Sellador de concreto	gal	14,23	4	\$56,92
Tubería galvanizada 1"	mts	1,55	1	\$1,55
Tubería galvanizada 1/2"	mts	1,20	3	\$3,60
Tubo de drenaje 8"	mts	18,81	14	\$263,28
Varilla de 1/4"	12 mts	0,24	9	\$2,16
Varilla de 3/8"	12 mts	2,03	16	\$32,48
Tanque cilíndrico (1mts ³)	unidad	200,00	1	\$200,00
Lija # 150	unidad	0,36	10,00	\$3,60
Total				\$1.847,64
C.P. (Cemento)				\$184,76
Valor Total				\$2.032,40

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR, BASÁNDOSE EN LA C.C.G.

TABLA 30

COSTOS DE MANO DE OBRA

Mano de obra	# de trabajadores	Días	Precio / Día	Total
Maestro de obra	1	35	\$7,04	\$246,40
Albañiles	2	35	\$6,88	\$481,60
Ayudantes	2	35	\$6,72	\$470,40
			Total	\$1.198,40

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

Con lo referente a los costos de alquiler de maquinaria y equipo, que se detallan en la Tabla 31, estos son los valores actualizados al 2002 de la "Lubricadora Daule y Alquiler de Maquinaria" del Sr. Carlos Aguirre en Daule, quien es el proveedor más cercano de este servicio de alquiler a una distancia de 5 Km, la cual hay desde Daule hasta el Galo Plaza Lazo (Campus Daule de la E.S.P.O.L.).

En la Tabla 32 se detallan todos los Costos Totales de inversión en la construcción del biodigestor propuesto.

TABLA 31

COSTOS DE ALQUILER DE MAQUINARIA Y EQUIPO

Maquinarias	Unidad	Costo	Cantidad	Costo Total
Retroexcavadora de 1 mts ³ de cuchara	cada / hora	\$40,00	24	\$960,00
Camabaja	distancia 5 Km	\$75,00	-	\$75,00
			Total	\$1.035,00

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

TABLA 32

INVERSIÓN TOTAL

Inversión	
Materiales	\$2.032,40
Mano de obra	\$1.198,40
Maquinaria	\$1.035,00
TOTAL INVERSIÓN	\$4.265,80

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

En la Tabla 33 se detalla el resultado operacional de la producción de biogas; en el cual, se obtiene el precio del estiércol considerando su costo de oportunidad como fuente de nitrógeno. El precio del nitrógeno (lo sacamos con respecto al precio de urea que contiene 45% de nitrógeno y es la fuente más común del mismo) que es de \$ 8,00 de la siguiente manera:

1 Kg de Urea \longrightarrow 0,45 Kg de Nitrógeno

50 Kg de Urea \longrightarrow X?

X = 22,5 Kg de Nitrógeno

22,5 Kg de Nitrógeno \longrightarrow \$ 8

1 Kg de Nitrógeno \longrightarrow X?

X = \$ 0.36 cada Kg de Nitrógeno

Como se puede observar en los cálculos anteriores, cada Kg de Nitrógeno cuesta \$ 0,36, entonces para obtener el precio del estiércol, lo relacionamos con la cantidad de Nitrógeno que este

posee y el precio de cada Kg de Nitrógeno, por lo tanto este cálculo va a ser:

100 Kg de Estiércol \longrightarrow 3,8 Kg de Nitrógeno

1 Kg de Estiércol \longrightarrow X?

X = 0,038 Kg de Nitrógeno por cada Kg de estiércol

1 Kg de Nitrógeno \longrightarrow \$ 0,36

0,038 Kg de Nitrógeno \longrightarrow X?

X = \$ 0,01368 por cada Kg de estiércol.

El precio del inóculo con una relación de estiércol: agua de 1:3 respectivamente, se calcula mediante el precio de los materiales que se utilizan para la formación del mismo, los cuales son:

- 1 Tanque metálico de 15 Gal. = \$ 15
- Agua (0.15612 mts³).
- Estiércol (52,04 Kg).

El precio del Biogas, se lo obtuvo al comparar el Biogas con el gas de uso comercial, para lo cual utilizamos el poder calorífico de cada uno, para poder sacar una tasa de conversión que ayudará a calcular el precio comparativo entre el biogas y el gas de la ciudad, por lo tanto tendremos (14):

$$\text{Poder calorífico del biogas} = 5,96 \text{ Kwh/mts}^3$$

$$\text{Poder calorífico del gas de la ciudad} = 4,07 \text{ Kwh/mts}^3$$

$$\text{Tasa de conversión} = 5,96 \text{ Kwh/mts}^3 / 4,07 \text{ Kwh/mts}^3$$

$$\text{Tasa de conversión} = \mathbf{1.46}$$

Una vez que se obtiene la Tasa de conversión del biogas versus el gas de la ciudad se procede a calcular el precio del biogas, para lo cual utilizaremos, el precio del gas de la ciudad, el cual es de \$2 los 15 Kg de gas, por lo tanto tendremos un precio del biogas de:

$$\text{Precio del biogas} = (\text{precio del gas} / 15 \text{ Kg}) \times \text{Tasa de conversión}$$

$$\text{Precio del biogas} = (\$2 / 15 \text{ Kg}) \times 1.46$$

$$\text{Precio del biogas} = \mathbf{\$ 0.20 \text{ aproximadamente}}$$

Para poder obtener la cantidad de Biogas en Kg que produce el biodigestor al día, necesitamos utilizar la densidad del biogas con respecto al aire, la cual es de 0.94 Kg/mts^3 , por lo tanto vamos a tener una producción diaria de biogas de (14):

$$\text{Producción diaria de biogas} = 12,33792 \text{ mts}^3$$

$$\text{Producción diaria de biogas en Kg} = 12,33792 \text{ mts}^3 \times 0,94 \text{ Kg/mts}^3$$

$$\text{Producción diaria de biogas en Kg} = \mathbf{11,59 \text{ Kg/ día}}$$

aproximadamente

Para calcular la producción de biogas al año, necesitamos saber cuantos días se demora en producir un gas con óptimas condiciones para su utilización. El sustrato de alimentación de biodigestor se va a comenzar a fermentar de manera anaeróbica en el momento en que el nivel del cieno de fermentación llegue a tapar el tubo que comunica el tanque de carga con el digestor, lo cual va a llevar aproximadamente 63 días, pero hay que tener en cuenta que, antes de que el nivel del sustrato llegue al tubo mencionado anteriormente, hay que introducir el inoculante, para que se acelere la producción de biogas. Una vez que se ha introducido el inoculante y han pasado los 63 días tapándose el

tubo de carga, se deben de esperar 15 días más, según la experiencia de los investigadores de la G.T.Z., para que se produzca un biogas que tenga óptimas condiciones para su utilización. Por lo tanto, restando éstos 78 días (63 + 15 días) el biogas óptimo se va a producir por 287 días durante el año.

Si sabemos que tenemos una producción diaria de 11,59 Kg/ día, en 287 días vamos a tener una producción de 3326,33 Kg/día.

TABLA 33

**RESULTADO OPERACIONAL DE LA PRODUCCION DE
BIOGAS EN UN AÑO**

PRODUCCION DE BIOGAS				
Costos:				
Actividades:				
Preparación de mezcla:				
Agua	mts ³	\$0,01	211,09	\$2,28
Estiércol	Kg	\$0,01	192,78	\$2,64
Limpieza Estiércol	hrs	\$0,75	730	\$547,50
Inóculo	Unidad	\$15,71	1	\$15,71
Mantenimiento				
Mano de Obra (separación de estiércol de animales enfermos)	hrs	\$0,75	10	\$7,50
			Total	\$675,63
Ingresos:				
Producción de Biogas	Kg	\$0,20	3326,33	\$665,27
			Total	\$665,27
Resultado Operacional de Producción de Biogas =				\$89,64

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

En la Tabla 34 se puede observar el resultado operacional de la producción de biogas. Vale recalcar que no hay ningún costo en la producción del biol, ya que los costos de la materia prima para la producción de biosol ya son tomados en cuenta en la producción de Biogas, dado que la misma materia prima utilizada para generar

biogas, al fermentarse forma biol y biosol. Los únicos costos que podrían incurrir serían los de recolección, pero como el diseño permite que la producción de biol pase por medio de una tubería desde el tanque de compensación y drenaje hasta el canal de riego, no hay ningún costo operacional.

El precio del biol de la Tabla 34 se lo obtuvo relacionando la cantidad de nitrógeno que posee este con el precio de nitrógeno obtenido anteriormente, el cual es de \$ 0,36. El biol tiene 3,52% de nitrógeno, y diariamente se producen 771,12 lts aproximadamente. Para efectos de cálculo se van transformar los litros a Kilogramos en una relación de 1 a 1, por lo tanto vamos a tener 771,12 Kg aproximadamente. Con los datos anteriormente mencionados se puede obtener la cantidad de Kilogramos de nitrógeno que se producirán diariamente, la cual va a ser de:

$$1 \text{ Kg de Biol} \longrightarrow 0.0352 \text{ Kg de Nitrógeno}$$

$$771,12 \text{ Kg de Biol} \longrightarrow X?$$

$$X = 27,14 \text{ Kg/día de Nitrógeno}$$

Como se había mencionado en el párrafo anterior cada kilogramo de nitrógeno tiene un precio de \$ 0,36, y que 1 lts de biol equivale

a 1 Kg del mismo, por lo tanto si se quiere obtener el precio por galón primero se deben de transformar los kilos de biol producidos por día a galones de biol producidos por días, para después obtener el precio por galón, de la siguiente manera:

$$3,785 \text{ lts de biol} \longrightarrow 1 \text{ Gal}$$

$$771,12 \text{ Kg de biol} = 771,12 \text{ lts de Biol} \longrightarrow X?$$

$$X = 203,73 \text{ Gal aproximadamente}$$

$$203,73 \text{ Gal} \longrightarrow 27,14 \text{ Kg de nitrógeno}$$

$$1 \text{ Gal} \longrightarrow X?$$

$$X = 0,13 \text{ Kg de nitrógeno por galón de biol}$$

$$1 \text{ Kg de nitrógeno} \longrightarrow \$ 0,36$$

$$0,13 \text{ Kg de nitrógeno} \longrightarrow X?$$

$$X = \$ 0,05 \text{ aproximadamente por galón}$$

Para obtener la producción de biol al año de la Tabla 34, se cuentan desde los días en que se comienza a fermentar el sustrato de alimentación del biodigestor hasta que termine el año (287 días), por lo tanto vamos a tener al año una producción de biol de:

Producción de Biol al año = 203,73 Gal/día X 287 días

Producción de Biol al año = **58470,66 Gal año**

TABLA 34

**RESULTADO OPERACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIOL
EN UN AÑO**

PRODUCCION DE BIOL				
Costos:	Unidad	Precio	Cantidad	Valor
	-	-	-	-
	Total			-
Ingresos:	Unidad	Precio	Cantidad	Valor
	Producción de Biol Gal	\$0,05	58470,66	\$2.923,53
	Total			\$2.923,53
Resultado Operacional de Producción de Biol =				\$2.923,53

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

Los costos de la Tabla 35, son por la recolección del biosol y la limpieza del biodigestor, los cuales se hacen una vez al final del año.

En la Tabla 35 el precio del Biosol se calculó de la misma manera que el precio del Biol, es decir, relacionando el precio del Nitrógeno, con la cantidad de nitrógeno que posee el biosol. La relación es la siguiente:

0,0507 Kg de Nitrógeno \longrightarrow 1 Kg de biosol

1 Kg de Nitrógeno \longrightarrow X?

X = 19,72 Kg de biosol aproximadamente por Kg de Nitrógeno

Como sabemos que en 19,72 Kg de biosol hay 1 Kg de Nitrógeno, y que cada Kg de nitrógeno cuesta \$ 0,36, el precio de cada Kg de biosol va a ser de:

19,72 Kg de biosol \longrightarrow \$ 0,36

1 Kg de biosol \longrightarrow X?

X = \$ 0.02 cada Kg de Biosol

TABLA 35

**RESULTADO OPERACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE BIOSOL EN
UN AÑO**

PRODUCCION DE BIOSOL			
Costos:			
Actividades:	Unidad	Precio	Cantidad
Recolección	hrs	\$0,75	16
Limpieza	hrs	\$0,75	8
		Total	\$18,00
Ingresos:			
	Unidad	Precio	Cantidad
Producción de Biosol	Kg	\$0,02	14072,94
		Total	\$281,46
Resultado Operacional de Producción de Biosol =			\$263,46

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

En la Tabla 36 se puede observar el análisis económico del biodigestor propuesto, en la cual se detalla la utilidad operativa anual que tendría el proyecto. Para sacar la depreciación anual del diseño, se estimó que el biodigestor va a tener una vida útil de 25 años y con un valor residual del 10 % de la inversión. Los gastos generales de mantenimiento y reparación serán del 5% de la inversión durante 10 años, dado que la estructura del biodigestor

es bien fuerte, porque la mayor parte del biodigestor estará construida de concreto, y tendrá pocos materiales de corta vida útil.

TABLA 36

ANALISIS ECONOMICO



ANALISIS ECONOMICO	
Resultado Operacional de Producción de Biogas	\$89,64
Resultado Operacional de Producción de Biol	\$2.923,53
Resultado Operacional de Producción de Biosol	\$263,46
	\$3.276,63 Utilidad Bruta
	-\$375,39 Depreciacion
	-\$213,29 Gastos Generales de Mantenimiento y Reparación (5% de la inversión)
Utilidad Operativa Anual	\$2.687,95

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

En la Tabla 37 se puede observar el flujo de efectivo que tendría el biodigestor propuesto, el cual tiene un VAN (Valor Actual Neto)

para un flujo de cinco años de \$ 7346,67, es decir que la diferencia de todos los ingresos y egresos expresados en moneda actual van a proporcionar una rentabilidad de \$7346,67.

El TIR (Tasa Interna de Retorno) del biodigestor propuesto para un flujo de efectivo de 5 años va a ser de 66%, es decir, que este proyecto podría pagar una tasa de descuento de hasta el 66% sin perder dinero.

Por lo tanto, este proyecto es factible ya que su VAN es mayor a 0, y su TIR es mayor a la tasa de descuento del 10%, la cual ofrece la E.S.P.O.L. para los prestamos de proyectos.

TABLA 37

FLUJO DE EFECTIVO A 5 AÑOS

FLUJO DE EFECTIVO						
	0	1	2	3	4	5
<i>Flujo de Efectivo Operacional</i>						
Resultado Operacional de Producción de Biogas		\$89,64	\$89,64	\$89,64	\$89,64	\$89,64
Resultado Operacional de Producción de Biól		\$2.923,53	\$2.923,53	\$2.923,53	\$2.923,53	\$2.923,53
Resultado Operacional de Producción de Biosol		\$263,46	\$263,46	\$263,46	\$263,46	\$263,46
Gastos de mantenimiento y Reparación		-\$213,29	-\$213,29	-\$213,29	-\$213,29	-\$213,29
Inversión	-\$4.265,80					
Flujo Neto Año	-\$4.265,80	\$3.063,34	\$3.063,34	\$3.063,34	\$3.063,34	\$3.063,34
Tasa de Descuento = 10,00%	VAN = \$7.346,67		TIR = 66%			

FUENTE: ELABORADA POR EL AUTOR.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. El biodigestor es un sistema cerrado que permite la transformación de las excretas de ganado en fertilizantes orgánicos y generan gas metano para diferentes usos, por lo que su manejo y operación inciden para lograr una rentabilidad alta así como en la selección del sistema mas apropiado.
2. El sistema de biodigestor aquí presentado es un sistema que se construye bajo el nivel del suelo por lo que la incidencia en los cambios atmosféricos no afectaran la generación del mismo.
3. La construcción del biodigestor diseñado exige el uso de técnicas apropiadas para que el desempeño del mismo sea

eficiente y no se corra el riesgo de colapsos debido a fugas por una mala construcción.

4. La operación del biodigestor demanda mucho cuidado en el manejo del pH, dado que si este se sale del rango establecido entre 6,5 y 7,2 afecta sensiblemente a la generación.
5. La construcción de un biodigestor favorece el mantenimiento del medio ambiente dado que reduce los factores que afectan al mismo, tanto al nivel de masa biótica como la calidad del aire.
6. El biodigestor al generar fertilizantes y gas favorece la economía familiar y mejora la salud por el no uso de fósiles que en los procesos de cocción de alimentos generan excesivo hollín.
7. Existe una viabilidad económica del proyecto, pues sus tres operaciones son rentables, siendo la más importante la producción del biol.
8. La inversión tiene una factibilidad económica en el tiempo, por que su Valor Actual Neto (VAN) descontado al 10% es de \$ 7346,67 y su Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 66%, lo que representa un bajo riesgo.

5.2. RECOMENDACIONES

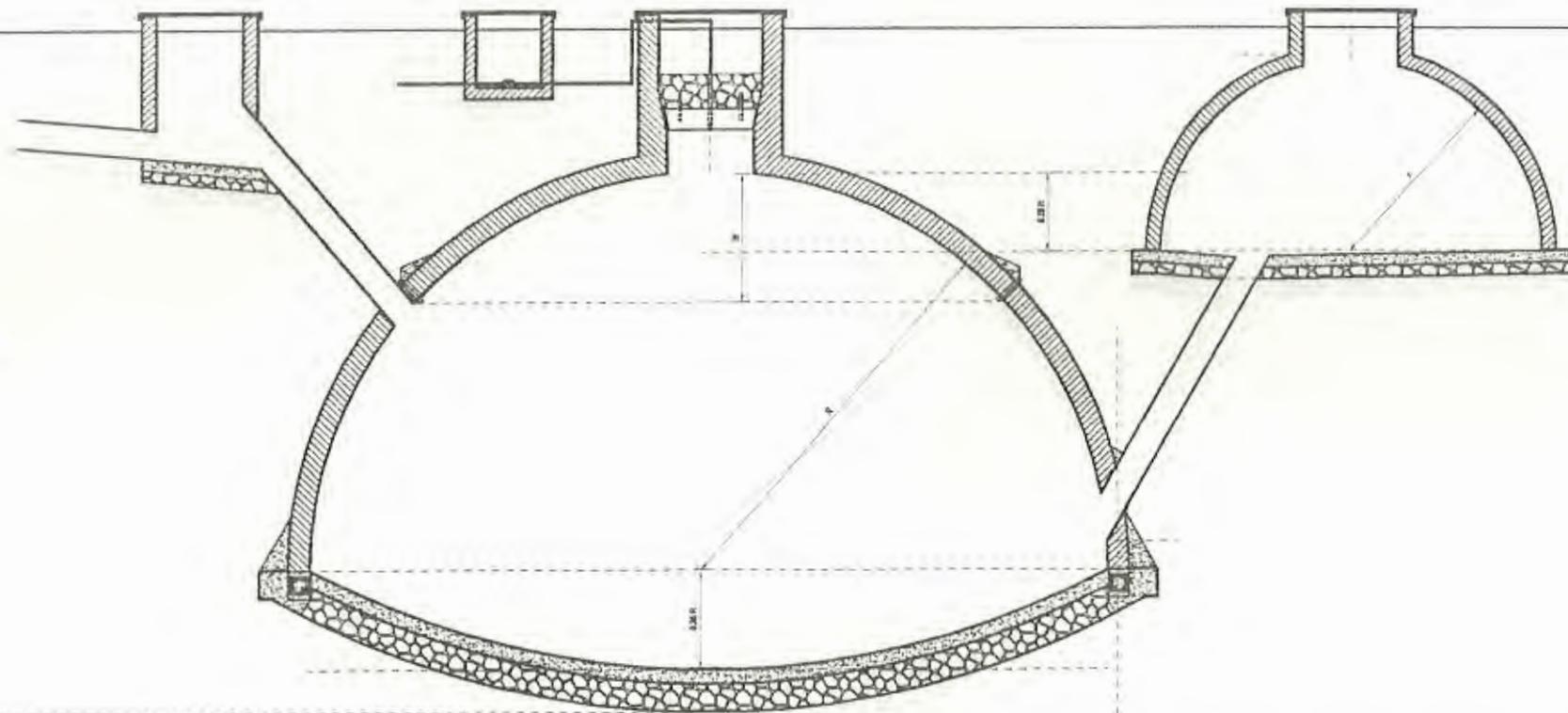
- 1 Al modelo escogido para el diseño debe de dársele mantenimiento por lo menos una vez al año, para que se garantice tanto la generación de gas como de biol, es sumamente importante que la relación en la mezcla de agua y excretas mantenga una proporción máxima de uno a tres.
- 2 El biodigestor debe tener un sistema de seguridad que impida que la presión vaya mas arriba de lo establecido para su operación.
- 3 La red de distribución de gas metano debe tener filtros de seguridad que impidan que en un momento dado se produzca un retroceso de la llama que produzca una explosión del biodigestor.
- 4 Se recomienda alimentar al biodigestor con materiales de excretas que mantengan una relación carbono / nitrógeno de 20 a 1 hasta 30 a 1 que es el ideal.
- 5 Si el gas metano va a ser utilizado para equipos de generación eléctrica se recomienda utilizar filtros para desulfurizarlo y los

más recomendables son los que se fabrican con viruta de hierro.

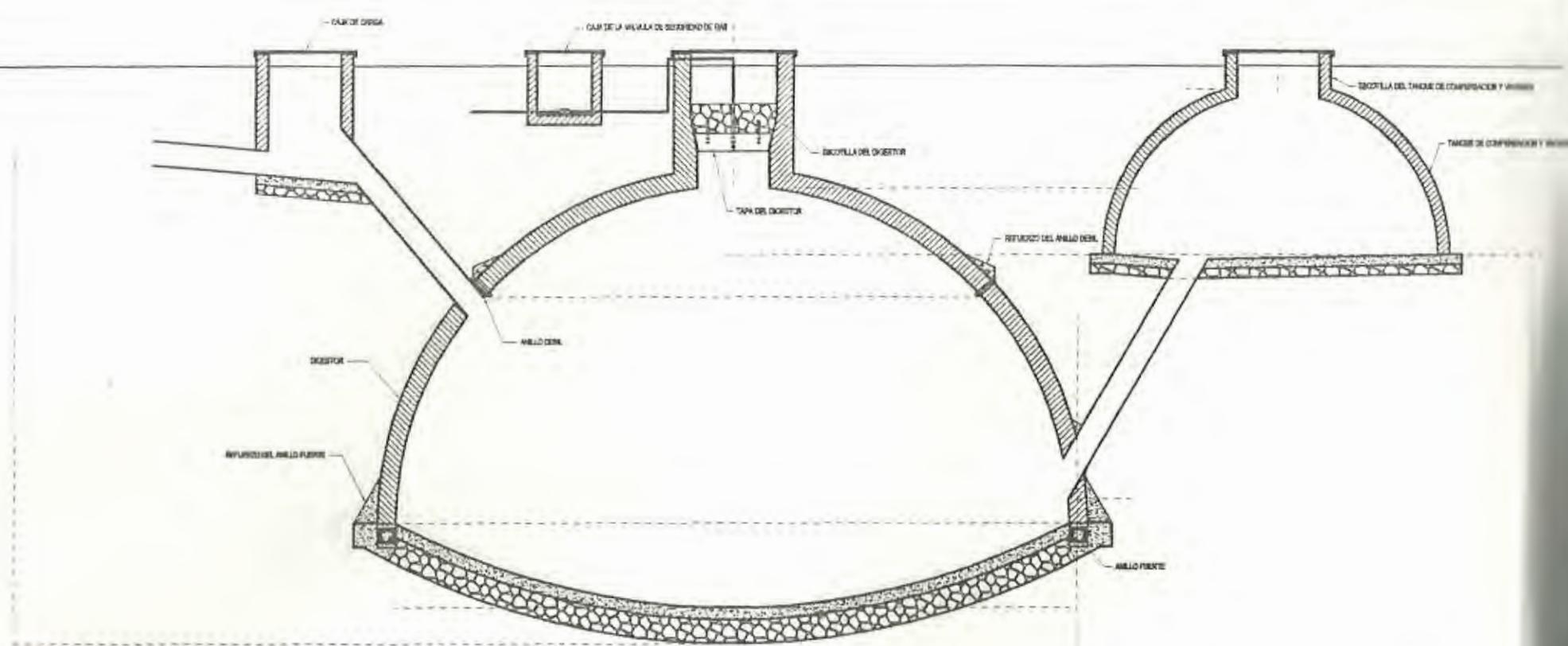
- 6 Si el uso que se le va a dar al gas es adicionalmente para generación eléctrica a través de motores de combustión interna, es necesario almacenar el gas limpio de azufre en reservorios especiales para tener una alimentación constante al sistema de generación.
- 7 Los materiales para la construcción del biodigestor serán de primera calidad, esto en lo referente a los ladrillos, arenas, y a las mezclas que se preparen para fundir los diferentes elementos del biodigestor.
- 8 La construcción del biodigestor debe de responder a los requerimientos técnicos y necesidades de consumo.
- 9 El biodigestor fue diseñado para manejar excretas de cerdos y por lo tanto no deberá de introducirse en él materiales que no sean biodegradables y que cambien la relación del pH.
- 10 La única forma de detectar fugas de gas metano, es mediante el uso de agua y jabón, dado que este gas es inodoro por lo que no es fácil su detección como en el caso del gas



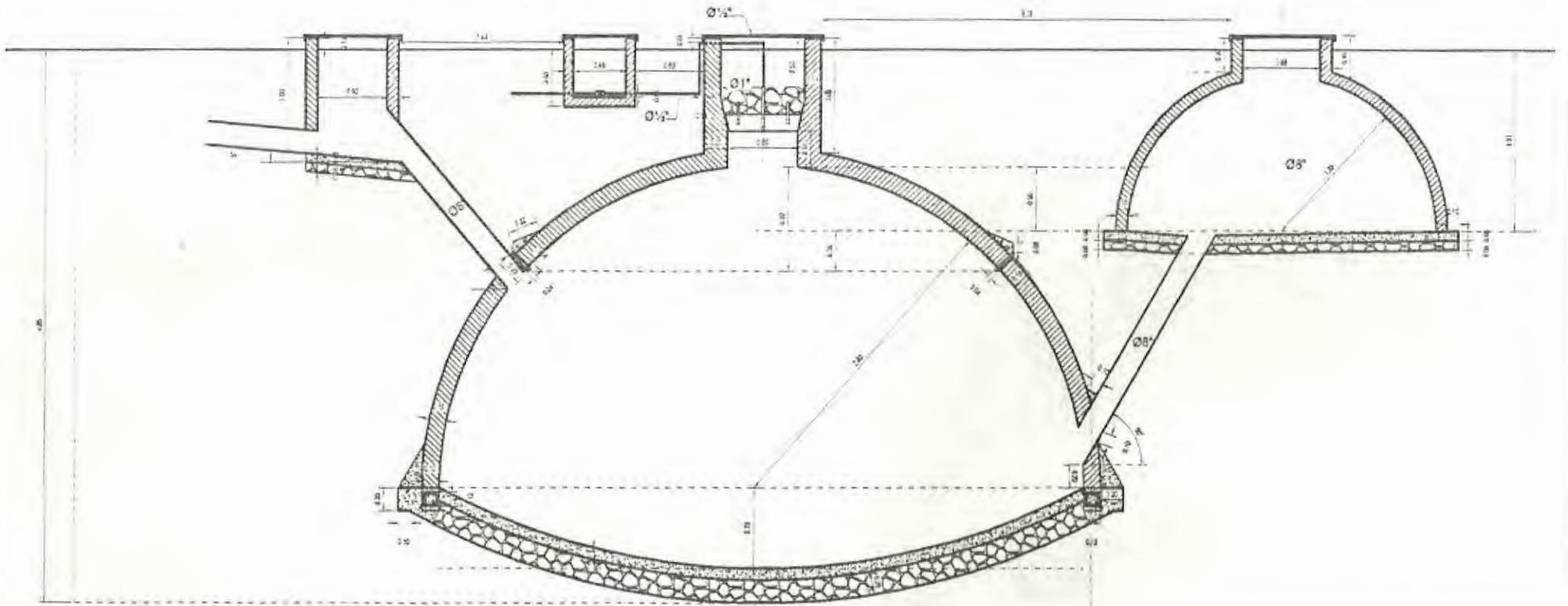
doméstico. Si se sospecha de fugas de gas metano, se recomienda mejorar la ventilación dado que a diferencia del gas domestico este se acumula en la parte superior de un ambiente cerrado.



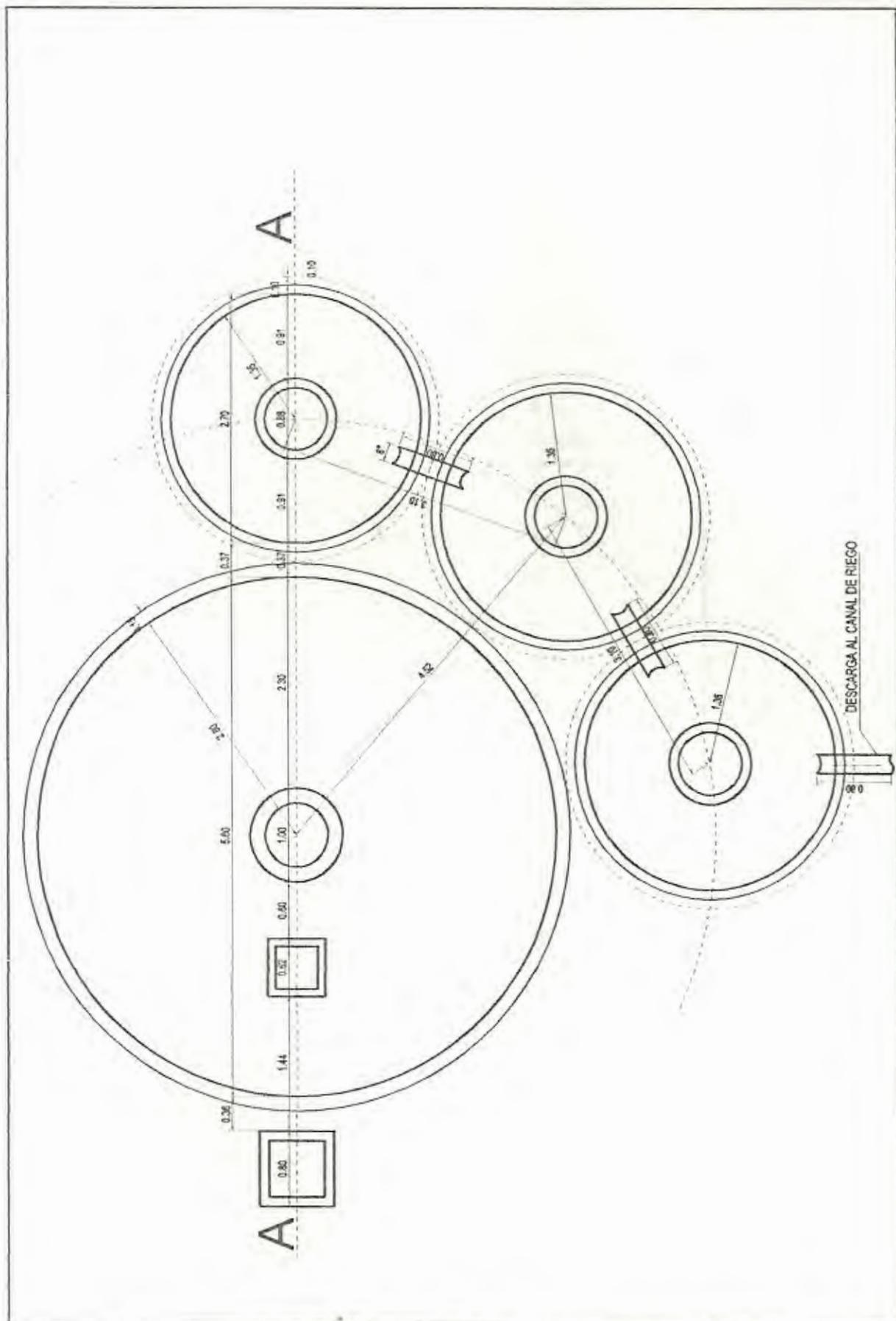
FIMCP - ESPOL		ESCALA:
PROYECTO BIODIGESTOR		1:50
ALUMNO:	CONTIENE:	LAMINA No.
GIOVANNY ESPINOZA	CORTE A DIGESTOR DE CUPULA FIJA V _D : 46,27 M ³ V _G : 5,14 M ³	1



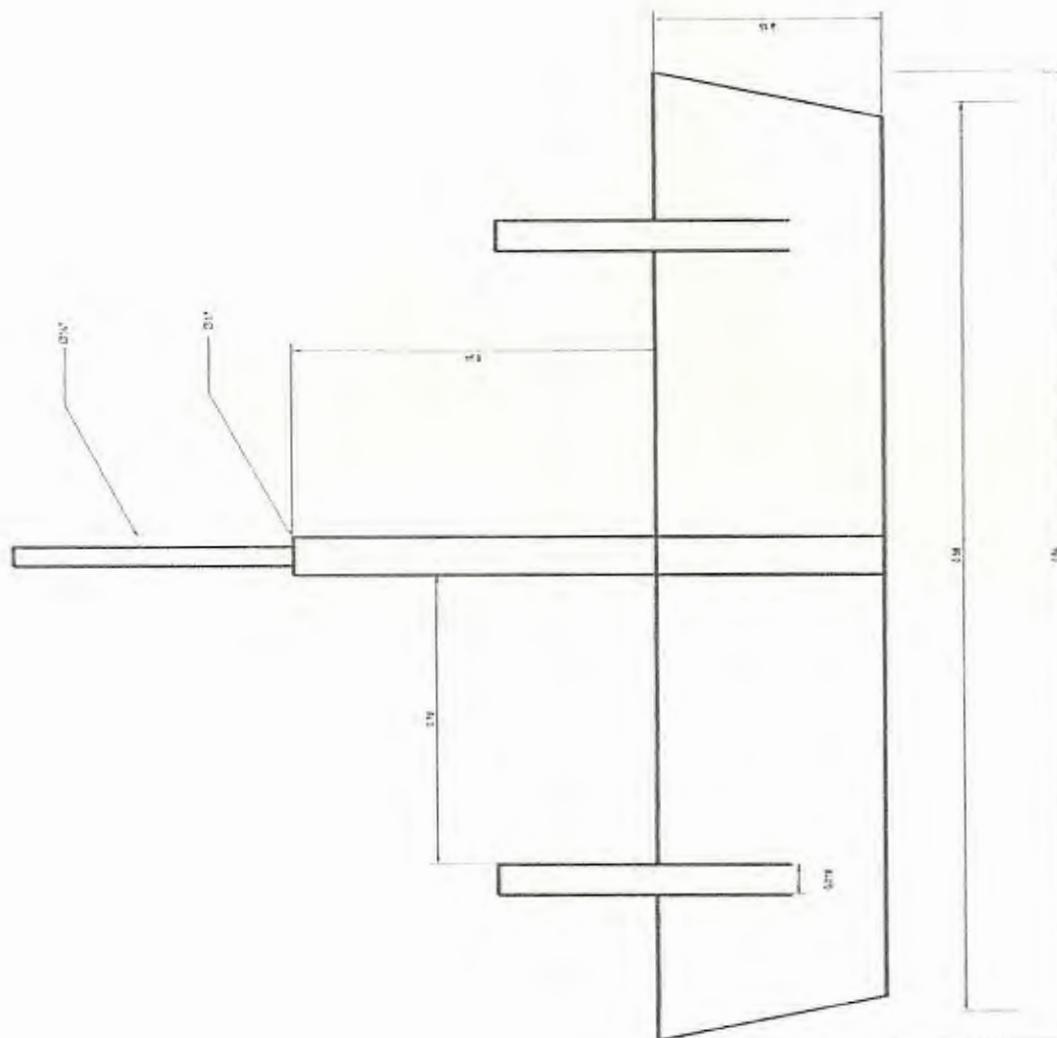
FIMCP - ESPOL		ESCALA:
PROYECTO BIODIGESTOR		1:50
ALUMNO:	CONTIENE:	LAMINA No.
GIOVANNY ESPINOZA	CORTE A DIGESTOR DE CUPULA FIJA Vo: 46,27 M ³ Vg: 5,14 M ³	2



FIMCP - ESPOL		ESCALA:
PROYECTO BIODIGESTOR		1:50
ALUMNO:	CONTIENE:	LAMINA No.
GIOVANNY ESPINOZA	CORTE A DIGESTOR DE CUPULA FIJA V _D : 46,27 M ³ V _G : 5,14 M ³	3



FIMCP - ESPOL		ESCALA: 1:60
PROYECTO BIODIGESTOR		
ALUMNO: GIOVANNY ESPINOZA	CONTIENE: PLANTA DIGESTOR DE CUPULA FIJA V _D : 46,27 M ³ V _G : 5,14 M ³	LAMINA No. 4



FIMCP - ESPOL PROYECTO BIODIGESTOR		ESCALA:
		1:10
ALUMNO: GIOVANNY ESPINOZA	CONTIENE: DETALLE DE TAPA DIGESTOR DE CUPULA FIJA Vd: 46,27 M ³ Vg: 5,14 M ³	LAMINA No. 5

APENDICE

APÉNDICE A

CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES COMBUSTIBLES (22)

CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES COMBUSTIBLES						
Clase de gas	Composición		Poder Calorífico Kwh/m ³	Densidad rel. Aire =1 $\rho=1,2\text{Kg/m}^3$	Vel. de la llama cm/s	Deman. de aire m ³ /m ³
	Componentes	%				
Metano	CH ₄	100	9,94	0,554	43	9,5
Propano	C ₃ H ₈	100	25,96	1,560	57	23,8
Butano	C ₄ H ₁₀	100	34,02	2,077	45	30,9
Gas natural	CH ₄ ;H ₂	65;35	7,52	0,384	60	7
Gas de ciudad	H ₂ ;CH ₄ ;N ₂	50;26;24	4,07	0,411	82	3,7
Biogas	CH ₄ ;CO ₂	60;40	5,96	0,940	40	5,7

APÉNDICE B

BIOGAS EN COMPARACIÓN CON OTROS COMBUSTIBLES (22)

BIOGAS EN COMPARACION CON OTROS COMBUSTIBLES							
Combustible:	Unidad	Poder Calorífico Kwh/u	Utilización	Rendimiento η	Poder Calorífico aprove. Kwh/u	Equival. En Biogas m^3/u	$1 m^3$ Biogas= lm^3
Carbón	Kg	2,5	cocinar	12%	0,30	0,09	11,11
Madera	Kg	5,0	cocinar	12%	0,60	0,18	5,56
Carbon veg.	Kg	8,0	cocinar	25%	2,00	0,61	1,64
Carbon (lit.)	Kg	9,0	cocinar	25%	2,25	0,69	1,45
Butano	Kg	13,6	cocinar	60%	8,16	2,49	0,40
Propano	Kg	13,9	cocinar	60%	8,34	2,54	0,39
Gasol	Kg	12,0	cocinar	50%	6,00	1,83	0,55
	(L)		motor	30%	4,00	2,80	0,36
Energía eléctrica	Kwh	1	cocinar	67%	0,67	0,20	5,00
			luz	9%	0,09	0,50	2,00
			motor	80%	0,80	0,56	1,79
Biogas	m^3	5,96	cocinar	55%	3,28	1,00	1,00
			luz	3%	0,18	1,00	1,00
			motor	24%	1,43	1,00	1,00

APÉNDICE C

UTILIZACIÓN Y CONSUMO DE BIOGAS (22)

Utilización y consumo de biogas	
Quemador doméstico	200 - 400 lts/
Quemador industrial	1000 - 3000 lts/h
Refrigerador (100 lts) según tem. exterior	30 - 75 lts/h 720 - 1800 lts/h
Lámpara de gas, equivalente a una bombilla de 60 W	120 - 150 lts/h
Motor Biogas / Diesel por bhp	420 lts/h
Producción de 1 Kwh de corriente eléctrica con una mezcla Biogas / Diesel	700 lts/h
gr, 100 unidades) con una mezcla Biogas / Diesel	140 lts/j

APÉNDICE D

BIOGAS PARA COCINAR (VALORES PRACTICOS PARA LA INDIA) (22)

Biogas para Cocinar (Valores Prácticos en la India)		
Cantidad Consumida	Tiempo (min)	Gas (litros)
1 lts de agua	10	40
5 lts de agua	35	165
500 grs de arroz	30	140
1000 grs de arroz	37	175
350 grs de leguminosas	60	270
700 grs de leguminosas	70	315

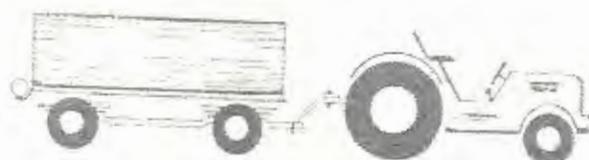
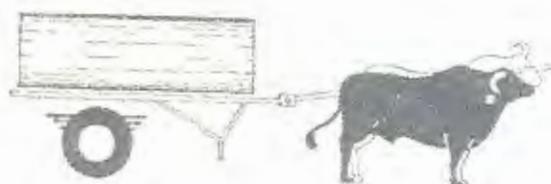
Una familia con 5 miembros consume según las costumbres alimenticias y consumo de gas (por ejemplo agua para bañarse) 850 - 2500 lts de gas/d.
Una familia con 10 miembros consume 15 - 30% más.

APÉNDICE E
EQUIPOS Y MATERIALES PARA EL USO DE EFLUENTES PARA
BIOABONO (19)



Carretilla Bioabonero

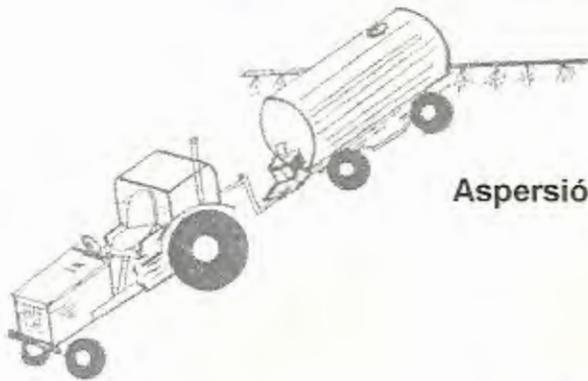
Cisterna para Tracción animal



Cisterna para Tracción motriz

APÉNDICE F

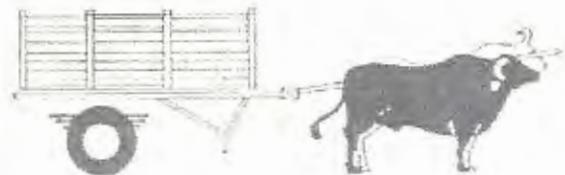
EQUIPOS PARA TRANSPORTAR EL BIOSOL (19)



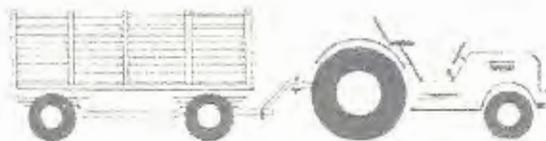
Aspersión con equipo de tracción motriz



Carretilla



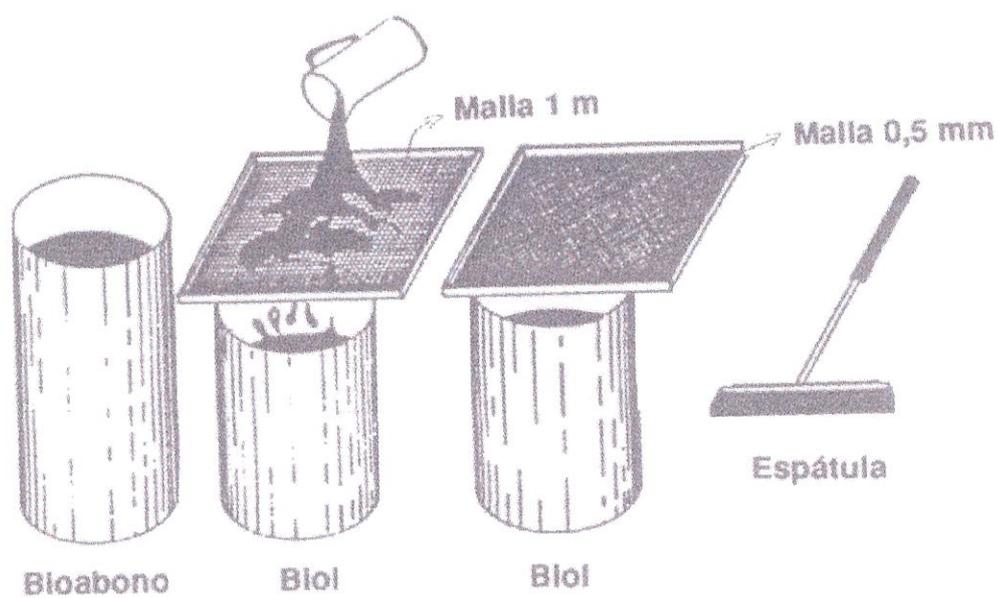
Chata para Tracción Animal



Chata para Tracción motriz

APÉNDICE G

EQUIPOS PARA FILTRAR BIOL (19)



APÉNDICE H

EQUIPOS PARA APLICAR BIOL (19)



Mochila Aspersora Manual



Moto Aspersora



Riego por Aspersión

BIBLIOGRAFÍA

1. Bux Singh Ram. Bio-gas Plant. Generating Methane From Organic Wastes & Designs With Specifications. Gobar gas Research Station. Ajitmal, Etawah (U.P.) India.
2. CAEEB-DIRECTORIA TÉCNICA. Biogas E Sua Tecnologia. Rio de Janeiro - Brasil; 1981.
3. Caicedo Luis A., Villamil Carlos M., Duqueg Carlos. Cartilla. Sistemas de Tratamiento para los residuos de la industria porcícola. Una forma fácil de entender y aplicar criterios de diseño. Colombia, 1991.
4. CIPAV. Biodigestores Plásticos. Colombia, 1991.
5. CVC-GTZ-BIOSYSTEM. Biodigestores Cúpula Fija. Guía de Construcción. Colombia, 1992.
6. Energy Resources Development Series N°21. Guidebook on Biogas Development. United Nations. EE.UU., 1986.

7. Fernández Batista Laurentino. Manual Técnico. Construção E Operação de Biodigestores. Brasilia - Brasil, Majo-1980.
8. Fundacao Centro tecnologico de Minas Gerais/CETEC. Estado de Arte da Digestão Anaeróbia. Serie de Publicacoes Tecnicas/SPT-005. SIN-0100-9540. Brasil, 1992.
9. Goodwin. Derek H. Producción y Manejo del Cerdo. Editorial Acribia, S. A. España, 1986.
10. Ing. Demant Dierk. Ing. Köberle Erwin. Posibilidades del uso de Energías Renovables en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano. Escuela Agrícola Panamericana. Proyecto EAP-República Federal de Alemania (GTZ-PN 86.2274.8-01.200). Berlin-Glonn. Honduras, Junio 1992.
11. Ing. Medina Vargas Adalberto. El Biol: Fuente de Fitoestimulantes en el Desarrollo Agrícola. Cochabamba - Bolivia 1990.
12. Instituto Nacional de Energía (INE). Manual Técnico para construcción y Mantenimiento de Biodigestores. Quito-Ecuador. 1984.



13. Instituto Nacional de Energía. INE. Guía para la Construcción de un Biodigestor. Quito-Ecuador-1988.
14. Instituto Técnico de Capacitación y Productividad. Manual de Biogas y Bioabono. Habilitación, Nivel Operativo, Sector Primario. Departamento de Energéticos y Minería. INTECAP. DT.239.DA.60-8/85. Guatemala, 1985.
15. Mandujano A. Ma. Isabel. Felix A. Alfonso. Martinez Ana María. Biogas. Energía y Fertilizantes a partir de desechos orgánicos. Manual para el Promotor de la Tecnología. OLADE: Serie Publicaciones Especiales N°6. Cuernavaca, Morelos. México 1981.
16. Martins Craveiro Américo. Pesquisa & Desenvolvimento. Produção de Biogás. São Paulo, 1982. Instituto de Pesquisas Tecnológicas Do Estado de São Paulo. Divisão de Química e Engenharia Química. Brasil, 1982.
17. Muche Helmut/Zimmermann Harald. La Purificación del Biogas. Vieweg. Alemania, 1985.
18. Proyecto Biogas UMSS GATE. Plantas de Biogas. Bolivia, 1992.

19. Proyecto Biogas UMSS-GTZ. Manejo de Efluentes. Cochabamba-Bolivia. 1992.
20. Report on an FADUNDP Study tour to the people's Republic of China. China: Azolla propagation and small-scale Biogas Technology. 21 may-11 June 1979.
21. Sasse Ludwig, Kallner Christopher, Koser-Areas. Improved Biogas Unit For Developing Countries. Aus Der Arbeit Von GATE. Vieweg, Alemania. 1991.
22. Sasse Ludwig. La Planta de Biogas. Vieweg. Aus der Arbeit Von GATE. Alemania, 1984.
23. Solarte S. Antonio J. Los biodigestores plásticos para la producción de Energía Renovable en el Trópico. Convenio Interinstitucional para la Producción Agropecuaria en el Valle del Río Cauca (CIPAV). Apartado Aereo 7482 Cali - Colombia, 1990.
24. Suarez Mário, Jardim Attila. Aproveitamento De Resíduos Orgânicos Para Produção E Utilização De Biogás E Fertilizantes. Goiânia, Brasil, Janeiro de 1980.
25. UMSS-GTZ. Programa Especial de Energías. Bolivia, 1992.

26. Utah State University Extension. Land Application of Biosolids. A Guide for Farmers. September 1998. AG-WM-02. EE.UU., 1998.

27. Von Mitzlaff Klaus. Engines for Biogas. Theory, modification, economic operation. Alemania, 1988.

