



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE
DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO**

Javier Aníbal García Pérez

Asesorado por el Ing. Darío Orlando Oquendo Mayorga

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE
DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAVIER ANÍBAL GARCÍA PÉREZ

ASESORADO POR EL ING. DARÍO ORLANDO OQUENDO MAYORGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Ing. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Ing. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ismael Homero Jerez González
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADORA	Inga. Mayra Saadeth Arreaza Martínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 9 de agosto de 2012.



Javier Aníbal García Pérez

Guatemala 29 de Agosto de 2013

Ingeniero
Cesar Urquizú Rodas
Director de Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Su despacho

Estimado Ingeniero Urquizú:

Me es grato dirigirme a usted, para informarle que cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de Escuela, se procedió a la asesoría y revisión del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO"** desarrollado por el estudiante universitario Javier Aníbal García Pérez con número de carné 2007-14799.

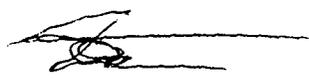
El trabajo presentado por la estudiante, ha sido desarrollado cumpliendo con los requisitos necesarios, por lo que considero que el trabajo ha cubierto los objetivos del estudio planteado, habiendo proyectado criterios de ingeniería en su desarrollo. Por lo que permito informarle que encuentro satisfactorio el trabajo realizado y lo remito a usted para los trámites respectivos.

Sin otro particular me despido de usted

Atentamente,

Ingeniero Darío Oquendo
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado activo 8,092

Asesor



INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL
DARIO ORLANDO OQUENDO MAYORCA
COLEGIADO No. 8092



REF.REV.EMI.182.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO**, presentado por el estudiante universitario **Javier Aníbal García Pérez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Danilo González Trejo
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO ACTIVO 6182

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.295.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO**, presentado por el estudiante universitario **Javier Aníbal García Pérez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 781.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO EXPERIMENTAL PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS Y APROVECHAMIENTO DEL METANO PARA USO DOMÉSTICO**, presentado por el estudiante universitario **Javier Aníbal García Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 6 de noviembre de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme dado vida y sabiduría, perseverancia y permitirme alcanzar todas mis metas trazadas a lo largo de mi vida.
Mis padres	Javier Aníbal García Constanza y Olga Yolanda Pérez Granell de García, por su amor, apoyo, orientación, y muy especialmente, por hacerme la persona que soy.
Mi esposa e hijo	Evelyn Alvarado y Rodrigo García, por su incondicional amor e inspiración para culminar mi carrera.
Mis hermanos	Claudia, Lucrecia, Patricia, Paola y Alejandro García Pérez, con mucho cariño.
Mis suegros, cuñados y sobrinos	Jorge Alvarado, Mayra Alonzo de Alvarado, Juan Carlos Ortiz, Kevin Pérez, Estuardo Alvarado, Azucena Alvarado y sobrinos, por sus consejos, apoyo y cariño.
Universidad de San Carlos de Guatemala y Facultad de Ingeniería	Por los valores, ética y conocimiento adquirido en el transcurso de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Javier y Olga, por los buenos principios que me brindaron, su gran amor y apoyo incondicional.
Mi esposa e hijo	Evelyn y Rodrigo, por su incondicional apoyo, amor y ser mi inspiración.
Mis hermanos	Por brindarme palabras de aliento y apoyo en todo el transcurso de mi vida así como de mi carrera.
Mis suegros, cuñados y sobrinos	Por brindarme su apoyo y cariño incondicionalmente.
Mis amigos	Por toda la ayuda que me brindaron y amistad en este camino y la vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la formación académica recibida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Inicios de la empresa en Guatemala	1
1.2. Información general.....	1
1.2.1. Ubicación	2
1.2.2. Misión	2
1.2.3. Visión.....	4
1.3. Tipo de organización	6
1.3.1. Organigrama.....	8
1.3.2. Descripción de puestos	11
2. TIPOS DE BIODIGESTORES	15
2.1. Tipos de biodigestor	17
2.1.1. Biodigestor de campana flotante	17
2.1.2. Biodigestor tipo hindú	18
2.1.3. Biodigestor tipo chino	21
2.1.4. Digestores de carga intermitente	23
2.1.5. Digestores semicontinuos.....	24
2.1.6. Digestores continuos	25

2.1.7.	Digestores discontinuos	26
2.1.8.	Biodigestor cilíndrico	27
2.1.9.	Biodigestor no cilíndrico	28
2.2.	Biodigestor doméstico	28
2.2.1.	Dimensiones mínimas	30
2.2.2.	Ubicación en el terreno	30
2.2.3.	Recolección de desechos.....	32
2.2.4.	Almacenamiento de los residuos.....	34
2.2.5.	Cantidad de residuos	36
2.2.6.	Calidad de los residuos	38
2.2.7.	Pretratamiento de los residuos.....	39
2.2.8.	Transporte de los desechos	39
3.	DISEÑO DE UN BIODIGESTOR	41
3.1.	Características físico-químicas del gas	41
3.1.1.	Necesidad de electricidad	45
3.1.2.	Combustión directa	45
3.1.2.1.	Calentamiento	45
3.1.2.1.1.	Calderas.....	46
3.1.2.1.2.	Hornos.....	46
3.1.2.2.	Refrigeración	46
3.1.3.	Consumo	47
3.2.	Utilización y almacenamiento del efluente	47
3.3.	Carga orgánica volumétrica	49
3.4.	Dimensionamiento del biodigestor	51
3.5.	Tipos de materiales	56
3.5.1.	Polímeros	57
3.5.2.	Concreto.....	57
3.5.3.	Arcilla.....	57

3.5.4.	Metal.....	58
3.6.	Fijaciones de los materiales	58
3.6.1.	Aglomerantes.....	58
3.6.2.	Soldadura	58
3.6.3.	Bridas y tornillos	59
3.6.4.	Tuberías de conducción	59
3.6.5.	Quemadores de biogás	60
4.	IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR	61
4.1.	Costo de diseño.....	61
4.1.1.	Estudio.....	61
4.1.2.	Planificación.....	62
4.2.	Modelo de negocio	62
4.2.1.	Desarrollo de nuevas plantas	63
4.2.2.	Volatilidad de los sustratos	63
4.2.3.	Modelos de negocio.....	64
4.2.3.1.	Modelo de gestión centralizado	65
4.2.3.2.	Modelo de gestión individual.....	66
4.2.3.3.	Individual en comparación al centralizado	68
4.3.	Rentabilidad.....	68
4.3.1.	Costos de inversión	68
4.3.2.	Ingresos de explotación.....	69
4.3.3.	Gastos de explotación	70
4.4.	Aspectos claves para la rentabilidad	71
4.5.	Generación de empleo	72
4.6.	Costo de materiales.....	72
4.6.1.	Cálculo de materiales	73
4.7.	Implementación	79

4.7.1.	Construcción e Instalación de Accesorios	80
4.7.1.1.	Determinación del área	81
4.7.1.2.	Construcción del biodigestor	81
4.7.1.2.1.	Obtención de materiales.....	82
4.7.1.2.2.	Aplicación de mano de obra.....	82
4.7.2.	Aplicación de los desechos orgánicos.....	83
4.7.3.	Monitoreo y control de obtención del metano.....	83
4.8.	Costo beneficio de la producción de metano	83
4.8.1.	Costo de producción	86
4.8.2.	Beneficio del uso de metano	88
4.9.	Manual de usuario.....	89
5.	NORMAS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO.....	91
5.1.	Normas de seguridad	92
5.1.1.	Normas para manejo de los gases.....	93
5.1.2.	Normas de seguridad para manejo de los desechos.....	94
5.1.3.	Manejo seguro de los desechos con protección....	94
5.1.4.	Instrumentación para el control de gas	95
5.1.5.	Tipos de protección	96
5.2.	Mantenimiento.....	97
5.2.1.	Plan básico de mantenimiento	97
5.2.2.	Control de corrosión del domo	98
5.2.3.	Cambio periódico de mangueras de conducción.....	98
5.2.4.	Limpieza del residuo del proceso	98
5.2.5.	Reutilización del residuo como fertilizante.....	99
5.3.	Garantía de calidad.....	99

5.3.1.	Garantía de la materia prima	99
5.3.1.1.	Patógenos.....	100
5.3.1.2.	Parásitos.....	101
5.3.1.3.	Bacterias patógenas	102
5.3.1.4.	Virus	103
5.3.1.5.	Prácticas que reducen el contenido de sólidos en el biodigestor	103
5.3.1.5.1.	El proceso de adición de agua fresca.....	104
5.3.1.5.2.	Recolección con agua	105
5.3.1.5.3.	Dilución por lluvia	105
5.3.1.6.	Prácticas que permiten el aumento de la concentración de sólidos.....	105
5.3.2.	Recomendaciones para el sistema de biodigestión.....	106
5.3.2.1.	Limpieza	109
5.3.2.2.	Líneas de conducción	110
5.3.2.3.	Limpieza del gas.....	110
5.4.	Riesgos en la operación	111
5.4.1.	Emisiones al aire	112
5.4.2.	Emisiones al suelo y cursos de agua.....	112
5.4.3.	Trazas de amoníaco y de ácido sulfhídrico	113
5.4.4.	Riesgo de exposición.....	113
5.4.5.	Riesgos del sistema.....	114
5.5.	Condiciones especiales a tener en cuenta	114
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES.....		121
BIBLIOGRAFÍA.....		123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa.....	11
2.	Biodigestor tipo hindú.....	21
3.	Biodigestor tipo chino.....	23
4.	Digestor de carga intermitente.....	24
5.	Biodigestor cilíndrico.....	28
6.	Biodigestor casero.....	29
7.	Dimensiones de un biodigestor.....	53
8.	Grados de temperatura/ tiempo de retención.....	55
9.	Bridas de sujeción.....	59
10.	Modelo de biodigestor doméstico a utilizar en el proyecto.....	77

TABLAS

I.	Residuos orgánicos y su volumen de biogás generado.....	51
II.	Cantidades de gas producido/ cantidad de biomasa.....	52
III.	Relación artefacto consumo/ rendimiento.....	52
IV.	Materiales necesarios para el reactor y la entrada de materiales.....	74
V.	Materiales necesarios para la salida del efluente.....	75
VI.	Materiales necesarios para la salida del biogás.....	76
VII.	Demanda de biogás utilizado en diferentes equipos.....	85
VIII.	Proporción de costos para la implementación de un biodigestor.....	87
IX.	Sensibilidad económica de la implementación del biodigestor.....	87
X.	Costos proporcionales de operación.....	88

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
hcf	Altura de la cámara de fermentación
Hc	Altura de la cúpula
SD	Cantidad de sustrato
CTT	Capacidad total del tanque en litros
LD	Carga del biodigestor
CD	Carga diaria de mezcla a añadir
π	Constante matemática igual al 3,141592653
dcf	Diámetro de la cámara de fermentación
L	Largo
K	Producción específica de gas
r	Radio
rcf	Radio de la cámara de fermentación
rc	Radio de la cúpula
B/C	Relación beneficio costo
TS	Sólidos totales
TR	Tiempo de retención en días
Vol	Volumen
Vc	Volumen de la cámara colectora
Vgs	Volumen de la cámara de almacenamiento
Vf	Volumen de la cámara de fermentación
Vcf	Volumen de la cámara de fermentación
Vh	Volumen de la cámara hidráulica
Vc	Volumen de la cúpula

VT Volumen de trabajo en litros
Vd Volumen del digestor

GLOSARIO

Biodigestores	Contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos.
Biogás	Mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias (en ausencia de oxígeno). Es una fuente de energía renovable, cuyo fundamento es el gas producto de la descomposición anaeróbica de materia orgánica.
Biomasa	Abreviatura de masa biológica, cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico.
Efluentes	Desechos líquidos y gaseosos, tratados o no, generados por diversas actividades humanas que fluyen hacia sistemas colectores o directamente a los cuerpos receptores.
Gas metano	Se produce de forma natural por descomposición de la materia orgánica.

RESUMEN

La necesidad de creación de nuevas fuentes de energía calórica, eléctrica y térmica a partir de materias primas que se encuentren en disponibilidad de la localidad en regiones donde el acceso a ellos es difícil, o donde las economías son precarias, conlleva a idear alternativas para la obtención de la misma de manera eficiente.

Aquí se presenta un proyecto de generación de biogás para el consumo calórico en el hogar, por medio de un biodigestor que produzca biogás para ello y cuyos derivados sean reutilizados como bioabono a los suelos de la comunidad donde se encuentre ubicado.

Con el término biogás se designa a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias.

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina o el acpm (combustible diesel) en motores de combustión interna.

El tratamiento de las materias primas provenientes de animales, plantas o de otros medios posibles debe realizarse con cuidado para evitar riesgos a la salud de quienes pongan en marcha este tipo de proyectos. Además, se debe cuidar de los aspectos técnicos para su implementación y operación.

OBJETIVOS

General

Diseñar un biodigestor anaeróbico experimental para el manejo de desechos orgánicos y aprovechar el metano para su uso eutánico.

Específicos

1. Investigar los diferentes tipos de biodigestores que existen y que son utilizados para el aprovechamiento del metano.
2. Elaborar un biodigestor con dimensiones adecuadas para uso doméstico.
3. Determinar los materiales óptimos para la fabricación de un biodigestor.
4. Determinar el costo/beneficio del diseño e implementación de un sistema biodigestor para el aprovechamiento del gas metano.
5. Aplicar normas de seguridad en el equipo para la utilización de metano.
6. Implementar un modelo de biodigestor anaeróbico para demostrar ahorro energético.

INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país biocultural que tiene amplia diversidad de costumbres y niveles socioeconómicos, es una región donde una de las costumbres es cocinar con madera; esta se obtiene por recolección o tala de árboles, pero la utilización de madera como leña produce erosión en el suelo, esto facilita la instalación de biodigestores. El uso de biodigestores trae consigo grandes beneficios económicos, ya que tiene diferentes usos: produce gas metano, el cual se puede utilizar para la calefacción y en la iluminación; reduce el uso de energía eléctrica convencional. Esta es una forma de producir energía que no es contaminante ni en el proceso de su producción, ni en su combustión, contrario a lo que sucede con los combustibles fósiles.

Además, como subproductos de la producción del biogás se obtiene un fertilizante orgánico de alta calidad, de inmediata disponibilidad a los cultivos y que se puede integrar fácilmente al sistema de producción agrícola.

En el presente trabajo de graduación se propone una alternativa de diseño de un biodigestor, el cual permitirá el aprovechamiento del metano como fuente de energía calórica para cocinar alimentos; adicionalmente el valor agregado del proceso de obtención del metano es la utilización de residuo final como fertilizante, el cual se puede aplicar en cultivos de diferente índole. El residuo orgánico que se descarga del biodigestor obtenido de los procesos de digestión anaerobia es un lodo-líquido fluido de excelentes propiedades fertilizantes, el cual está constituido por la fracción orgánica que no alcanza a degradarse y por el material orgánico agotado. Su constitución puede variar mucho, dependiendo de las variaciones en el contenido de la materia orgánica

utilizada para alimentar el biodigestor y del tiempo de residencia de dicho material dentro de él. El fertilizante obtenido en la producción de biogás tiene características superiores al abono con estiércol fresco debido a que no se pierden los nutrientes. Puede competir con los fertilizantes químicos permitiendo un ahorro en la aplicación de otros abonos convencionales, sin disminuir la productividad de los cultivos. No deja residuos tóxicos en el suelo y además aumenta la productividad en comparación con suelos no abonados. Puede ser utilizado puro o como aditivo de origen orgánico de alta calidad, o como correctivo de la acidez en los suelos.

Otro aspecto importante es que el bioabono sólido o líquido no emana malos olores a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente a los cultivos en forma sólida o líquida, en las cantidades requeridas.

Como biofertilizante puro presenta una concentración de nutrientes relativamente alta, y a pesar de esta característica, puede ser aplicado directamente a los cultivos. Se le utiliza también, como aditivo en la preparación de soluciones nutritivas para cultivos hidropónicos.

Las ventajas de la utilización del bioabono como fertilizante son enormes, no solo por su bajo costo, sino también por los excelentes resultados que se obtienen en la producción agrícola de todo tipo de cultivo.

El primer principio de la termodinámica indica que la energía solo se transforma por lo que el uso de tecnologías que permitan la conservación del ambiente es, en la actualidad, de vital importancia, sobre todo en las ciudades en donde se producen grandes cantidades de desechos, que al no ser reutilizados generan alta contaminación, para ello se propone el modelo de

recolectar estos desechos y aprovechar la energía que aun poseen y convertirla en energía útil.

1. ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se incluyen los datos más importantes acerca de la personería del negocio que trata este proyecto y que incluye los aspectos que le dan forma y sentido al mismo.

Como se podrá apreciar, estos aspectos son los que indican la razón y motivo de la empresa, su misión y visión, entre otros aspectos de importancia que ubican al lector dentro del marco de referencia de las actividades que la empresa desarrolla, tal como se muestra a continuación.

1.1. Inicios de la empresa en Guatemala

Promotora General inicia sus actividades 1992, en la 17 calle 20-44 de la zona 10 de la ciudad de Guatemala; en sus inicios su labor principal era el mantenimiento de máquinas de diversa índole, pero posteriormente se transformó en una empresa dedicada al mantenimiento de equipo biomecánico y equipo de diagnóstico, específicamente en el área de patología y laboratorio clínico tanto en lo privado como en lo institucional.

1.2. Información general

A continuación se presenta información relevante de la empresa concerniente a su ubicación, misión, visión y otros aspectos que son de vital importancia para el cabal entendimiento de la empresa de que se trata en este apartado.

1.2.1. Ubicación

Actualmente la empresa se encuentra ubicada en la Calzada Mateo Flores 41-54 de la zona 3 del municipio de Mixco. Se decidió realizar un traslado debido a una mejor oportunidad en cuanto a la renta de oficina y porque la mayoría de trabajos se realizan en el occidente del país.

1.2.2. Misión

Siendo un elemento de la planificación estratégica, la misión es importante dado que a partir de ella se realiza la formulación de los objetivos detallados, que son aquellos que dan dirección a la empresa u organización de que se trate.

Por ello resulta de vital importancia que todas las personas involucradas en la empresa tengan conocimiento del concepto de misión, de la misión en sí misma, así como la aplicación que la misma tiene dentro del actuar de la empresa en todas sus facetas y actividades diarias.

La misión responde a la pregunta: “¿Qué se supone que hace la organización?”. Con base en ello, se entiende que la misión de una empresa es su propósito general, el motivo por el cual existe la misma.

Puede decirse entonces que, la misión es el propósito o la razón de ser de un negocio o empresa que indica el tipo de clientes que pretende servir, las necesidades que satisfará con su función, los tipos de productos que ofrece y cuáles sean los límites que ésta tiene para realizar sus tareas.

La misión debe darles el motivo a los empleados de la organización para realizar sus actividades a presente y futuro para que el empresario lleve a la acción y realidad la visión que tiene del negocio.

Es decir que, la misión actúa como un marco de referencia que orienta el actuar de las acciones, creando un enlace entre lo que se desea y lo que es posible y le da condicionamiento a las acciones en el presente y futuro del negocio y crea un sentido de unidad, dirección y guía para completar y llegar a un buen término en cuanto a las decisiones estratégicas se refiere.

“La misión de la organización debe ser cultivada y adoptada con empeño por parte de los dirigentes y debe ser ampliamente difundida entre todas las personas que laboran para ella, a fin de que se comprometan personalmente a realizarla”.¹

Para que la función tenga sentido y cumplimiento debe ser capaz de mover y motivar a los empleados de la organización dentro de la cual se promueve, poniendo a los empleados en una situación de proactividad en cuanto a la razón y propósito general de la empresa se refiere.

La misión debe definir los campos de competencia que le atañen a la empresa; también debe ser motivadora para que cree en los empleados interés por la promoción y apego a la misma.

La misión, también debe ser capaz de modelar y proporcionar dirección a la empresa durante un largo período de actividad, es decir, durante varios años; de preferencia, desde su inicio hasta su finalización.

¹ CHIAVENATO, Idalberto. Gestión del talento humano. p. 66.

Promotora General es una empresa cuya misión es desarrollar alternativas energéticas que permitan el ahorro de la energía y el aprovechamiento de los recursos naturales de tal forma que todo lo que se proponga sea una medida de mejora continua.

1.2.3. Visión

La imagen que el negocio tiene de sí mismo y de su futuro, es lo que se designa comúnmente como visión del mismo. La visión consiste en verse a sí mismo proyectado en dos dimensiones: el tiempo y el espacio.

Se espera que “la visión que la organización tenga de sí misma sea correcta así como del tipo de relaciones que se desea tener con las personas que entren en contacto con la empresa y de lo que quiere hacer en cuanto a sus clientes, mercados, necesidades y desafíos”.²

Entre las características de la empresa que la visión debe mostrar, está la de permitir la integración; es decir, que debe ser un reflejo de las expectativas de los empleados de la empresa de que se trate.

Es decir, que la visión debe permitir la acción de liderazgo y garantizar un apoyo permanente dentro de todos los marcos y actividades que la organización realiza para cumplir sus fines.

La visión también debe ser amplia. Es decir, debe ser tan extensa que permita un campo visual a futuro, de preferencia a largo plazo.

² CHIAVENATO, Idalberto. Gestión del talento humano. p. 67.

Además de lo anterior, la visión debe ser realizable, indicando aquí que debe ser una aspiración posible, no imposible, y también debe tener la calidad de ser medible. Nunca puede darse a la visión la categoría de inutilidad y debe ser calculable.

Para que la visión se cumpla debe realizarse a base de esfuerzo conjunto, de equipo, y debe estar basada en el conocimiento y la experiencia que la acción diaria de la empresa le dé a la entidad completa.

También debe ser activa, es decir, debe promover la acción.

Debe, además, ser realista. Por lo cual se deduce que debe tener un sustento de formación e información fidedigna, tomando en cuenta el entorno, cultura de la organización, la tecnología, los recursos de la empresa y la competencia y competitividad de la misma.

Se prevé que la visión debe tener un carácter alentador, ser positiva, que impulse, incentive e inspire a los empleados hacia la acción para alcanzar y lograr la misma con éxito.

La visión debe cubrir la dimensión de tiempo que se impone la empresa en el horizonte para alcanzar su propósito.

La visión debe ser consistente, es decir, debe presentar coherencia con los principios por los cuales se rige la organización y favorecer las posibilidades más realistas del negocio.

Para que se logre el conocimiento y entendimiento de la empresa se debe difundir la misma entre todos los participantes de la empresa. Y se cree que, el

conocimiento y difusión entre las personas externas a la empresa es también útil para que ellas comprendan el actuar y la razón del negocio.

La visión debe ofrecer flexibilidad ante los retos y desafíos que se enfrentan diariamente así como lograr un ajuste de la misma a la dinámica de cambio social y empresarial, así como económico.

Su redacción debe ser en lenguaje tan sencillo, pero eficaz, que cualquier persona que la lea o la escuche sea capaz de comprenderla en su totalidad; por lo tanto, la visión de la empresa es:

“Ser una empresa líder en el manejo de técnicas para el mejoramiento y la conservación de la energía, el medio ambiente y contribuir de esta forma al desarrollo de un mejor país.”

1.3. Tipo de organización

Las organizaciones pueden servir a diversos fines, tener diferentes propósitos y regirse por una amplia variedad de estructuras internas. Por lo cual resulta importante conocer algunas de las más utilizadas en la actualidad, como se menciona a continuación.

Según los fines que persigue la organización, o sea el principal motivo del desarrollo de sus actividades pueden existir con fines de lucro o sin fines de lucro.

Cuando una organización tiene el fin determinado de lograr la obtención de ganancias o utilidades para los propietarios o accionistas de la misma, se está hablando de una empresa, o una organización con fines de lucro.

Mientras tanto, si se está en presencia de una organización que tiene como objetivo el cumplimiento de un determinado rol o función social pero que no pretende la obtención de ganancias o utilidades, se está en presencia de una organización sin fines de lucro.

Cuando se habla de la formalidad del negocio, o sea la formalidad que presentan en su sistema oficial para favorecer las decisiones a tomar, la comunicación y el control dentro de la misma, se puede hablar de organizaciones formales e informales.

Se considera que una organización es formal cuando se caracteriza por la existencia de un sistema muy bien definido así como por la existencia de estructuras complejas, pero bien definidas, que favorecen la actuación de la organización.

“La organización formal tiene una estructura lógica y directrices bien claras; además, favorece la existencia de normas y reglamentos, así como de los procedimientos y las diversas rutinas de que trate la misma”.³

Sin embargo, una organización informal es aquella que presenta medios no oficiales pero que sí tienen influencia en la comunicación y las decisiones que se toman por parte de la misma y en la que el control es parte de sus actividades diarias.

También, según su centralización, la organización de que se hable puede ser centralizada o descentralizada.

³ Recuperado septiembre de 2013 de <http://www.promonegocios.net/empresa/tipos-organizaciones.html>

Una organización es centralizada cuando la autoridad se encuentra concentrada en la parte superior de la misma; es decir, cuando la toma de decisiones está concentrada en la parte superior de la empresa, o sea los mandos altos de la misma, y en la que se delega poca autoridad para la toma de decisiones en los otros niveles de ésta.

Entretanto, una organización se considera descentralizada cuando la toma de decisiones y la autoridad están delegadas, en la cadena de mando de ésta, hasta los niveles más inferiores en la medida de lo posible. Este tipo de organizaciones son útiles cuando se manejan en ambientes complejos y que son impredecibles.

Cuando la competencia es intensa las decisiones se suelen descentralizar a fin de lograr efectivo avance en la lucha por la obtención de respuestas más inmediatas y creativas que satisfagan el buen actuar y la rentabilidad de las operaciones que realiza la empresa.

Promotora General es una organización comercial, con fines de lucro, de tipo formal y centralizada, dedicada a la solución de problemas ambientales vinculada con el ahorro energético.

1.3.1. Organigrama

Un organigrama consiste en la representación de manera gráfica de la estructura organizacional que se aplica en la empresa u organización dentro de la cual se llevan las actividades que los empleados realizan para satisfacer la existencia y razón de la misma.

Los organigramas son representaciones intuitivas y objetivas que también son denominadas cartas o gráficas de la organización.

Un organigrama bien realizado describe las diversas funciones que se realizan dentro del negocio y la división de las funciones en el mismo. También revela los niveles de jerarquía de la organización, implicando quien tiene mayor y más inmediata autoridad.

En el organigrama se representan las líneas de autoridad y de responsabilidad que se llevan dentro del negocio. Así mismo, representa los canales de comunicación que son utilizados formal y continuamente dentro de la organización de que se trate.

Los organigramas revelan también, la naturaleza lineal del departamento de que se trate así como la existencia y prioridad de los jefes que operan en la organización sobre los diversos grupos de empleados.

El organigrama, también revela la existencia y la interrelación de los diferentes puestos en la empresa y entre departamentos o secciones de la organización.

Los organigramas pueden ser verticales, horizontales, circulares y escalares.

Se considera vertical un organigrama donde cada puesto está supeditado a la existencia de otro en un nivel superior; o sea que, la existencia de un nivel está precedida por la existencia de otro previo y superior a éste y se encuentran asociados de manera que el del nivel previo representa mayor responsabilidad y autoridad en la cadena de mando.

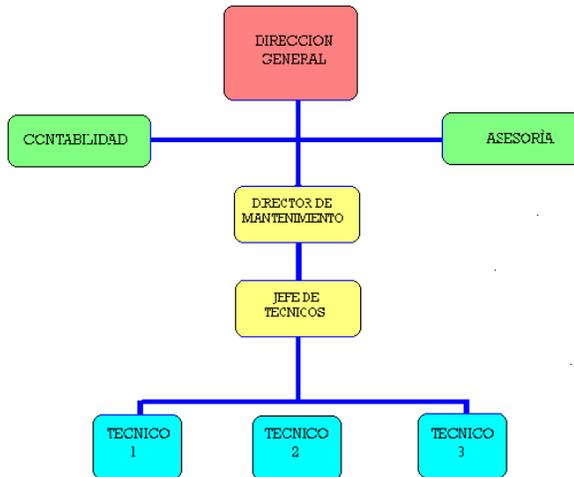
Mientras tanto, “un organigrama es horizontal cuando la representación de los elementos del organigrama es la misma que en el de tipo vertical, con la excepción de que los niveles máximos van a la izquierda y los demás niveles, inmediatos inferiores, se van corriendo hacia la derecha en grado sucesivo”.⁴

Un organigrama es circular cuando queda formado por un cuadro central, cuya representación es la de máxima autoridad empresarial, y en cuyo derredor se trazan círculos concéntricos, que representan los diferentes niveles de la organización. Y, es escalar, cuando se utilizan diferentes sangrías al margen izquierdo.

Se observa que el organigrama de la empresa Promotora General se compone por la Dirección General la cual está encargada de controlar y registrar las operaciones contables y financieras de la empresa, sirviendo de apoyo a los otros departamentos, lo cual da como resultado un organigrama de tipo vertical.

⁴ Recuperado septiembre de 2013 de http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=5661:que-es-un-organigrama-y-sus-tipos&catid=65:oficina-y-comercio&Itemid=88. Consulta: agosto de 2013.

Figura 1. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia, con datos proporcionados por la empresa Promotora General.

1.3.2. Descripción de puestos

- Director general: es la figura del representante legal y propietario de la patente de comercio; él ocupa la Dirección General como lo indica el organigrama.

El director general tiene la responsabilidad de velar por los ingresos y costos de la empresa. La persona en este cargo tiene la responsabilidad de velar, controlar y garantizar que las funciones de mercadeo y ventas sean eficaces y eficientes.

El director general es la persona encargada de tener el liderazgo y la coordinación de las funciones que atañen a la planificación estratégica del negocio.

- Contabilidad: es el Departamento en donde se opera la parte contable, el puesto lo ocupa un contador general.

El Departamento de Contabilidad precisa contar con información exacta sobre los métodos y juicios necesarios para que la información brindada sea exacta y lo más amplia posible, información que debe tenerse registrada de manera exacta y apropiada en los libros contables y, en algunos casos, en estadísticas que pueden ser de utilidad para la empresa.

Para que la información proveniente de este departamento sea de utilidad para la organización, el contador general se ocupa de que la información sea precisa, ordenada y completa a fin de que los juicios que a partir de la contabilidad se tomen sean adecuados y las acciones devenidas de ella sean correctas y garanticen el buen funcionamiento monetario de la empresa.

Para ello, es “importante tomar en cuenta lo que la persona en el puesto de contabilidad hace, cómo lo hace, y en qué condiciones y por qué sentido hace sus tareas de registro contable y verificación de los estados financieros de la empresa”.⁵

- Asesoría: este Departamento cuenta con un equipo o grupo de asesores en ventas y en la parte técnica-tecnológica para poder resolver los problemas de trabajo con más facilidad.

Es decir que, los asesores en ventas son los encargados de solventar lo relativo a las ventas dentro de la organización al momento de contactar con los diversos clientes que estos atienden.

⁵ CHIAVENATO, Idalberto. Gestión del talento humano. p. 222.

La importancia de estos asesores radica en que el contacto con clientes potenciales, y con antiguos clientes, pueden ser personas individuales, jurídicas u organizacionales. Lo cual les lleva a plantear de manera adecuada las actividades técnicas que realiza la empresa Promotora General en lo relativo a las tecnologías que la empresa ofrece en su actuar empresarial.

- Director de Mantenimiento: este puesto coordina el ingreso y egreso de los trabajos y también supervisa el desarrollo del mismo; sus atribuciones dependen del director general y gira instrucciones al jefe de técnicos.

Es importante mencionar que el mantenimiento establece el actuar que permite lograr niveles de conocimiento a fin de mantenerse al día, manteniendo el ritmo que la empresa pretende en todos sus negocios.

- Jefe de Técnicos: este puesto de trabajo está relacionado con los técnicos directamente para que se le asignen tareas a cada técnico y llevar el control de asistencia y puntualidad.

El ocupante de este puesto se encarga de asignar las tareas a los técnicos para que estos presten los servicios adecuados a los clientes y dispositivos con los que entran en contacto. Además debe garantizar que los empleados tienen el conocimiento necesario para poder llevar a cabo las tareas que definen el éxito empresarial en cuanto al funcionamiento adecuado de cada uno de los productos que la empresa ofrece.

- “Técnicos: son los que desarrollan la labor de los trabajos que ingresan al área de taller; es un tipo de personal especializado y con capacitación constante”⁶.

Los técnicos, aunque son personas que pertenecen al nivel operativo de la empresa, tienen importancia por cuanto por medio de ellos se realizan las operaciones de instalación de dispositivos y aparatos que la empresa fabrica y supervisa, así como velar por el correcto funcionamiento y garantía de operación y durabilidad y eficacia de éstos.

⁶ Información proporcionada por la empresa Promotora General.

2. TIPOS DE BIODIGESTORES

Un digestor de desechos orgánicos, también conocido como biodigestor, es un contenedor cerrado, hermético y también impermeable, conocido comúnmente como reactor.

En un digestor se deposita el material orgánico que se requiere fermentar ya sean excrementos provenientes de animales o personas humanas o bien desechos de tipo vegetal o de cualquier otra especie que provenga de la naturaleza.

Este depósito se hace en una dilución de agua con el fin de que sea descompuesta por microorganismos y así se favorece la producción de gas metano y por fertilizantes orgánicos como nitrógeno, fósforo y potasio.

Si el biodigestor se carga diariamente, el biogás se genera de manera continua a lo largo del día. O sea, la carga se hace todos los días con una cantidad determinada de desechos que son mezclados con agua y se obtiene del biodigestor un volumen de lodos fertilizantes que equivale a la mezcla alimentada por él.

Como ventajas del uso de un biodigestor, además de la generación de biogás, se pueden mencionar las siguientes:

- Efluente inodoro.
- Control de patógenos. El nivel de destrucción de los patógenos varía según la temperatura y el tiempo de retención.

- Incremento de la capacidad de fertilización del estiércol. Todos los nutrientes se conservan en el efluente.

Entre las principales características de un biodigestor están las siguientes:

- “Hermetismo: para evitar la entrada de aire, lo cual interfiere con el uso y funcionamiento del biodigestor, y con las fugas del biogás que éste produce.
- Aislamiento térmico: con el fin de evitar cambios violentos en la temperatura.
- Contar con válvula de seguridad: el contenedor primario debe contar con ésta aunque no sea un recipiente de alta presión.
- Medios adecuados para realizar la carga y descarga del sistema.
- Acceso garantizado para su adecuado mantenimiento.
- Contar con un medio adecuado para romper las natas formadas dentro del biodigestor”.⁷

Existen diversos tipos de biodigestores y cada uno de ellos se clasifica por su diseño o por la estructura que los conforme. Los biodigestores que se mencionan a continuación son los más conocidos y utilizados para la generación de energía como alternativa de uso en el ahorro doméstico, o bien, industrial.

⁷ LÓPEZ, Claudia; LÓPEZ, Omar. Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de ingeniería química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. p. 26.

2.1. Tipos de biodigestor

Un biodigestor es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas y de países como Guatemala para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales.

Existen diversos tipos, pero a continuación se describirán los más comunes y se ampliará la información sobre los de uso casero o rural ya que en ellos se basa la propuesta expuesta en el presente trabajo.

2.1.1. Biodigestor de campana flotante

El biodigestor de campana flotante está sostenido en mampostería y tiene un depósito de gas móvil que tiene forma de campana, este puede flotar de manera directa en la masa de fermentación, o bien, en un anillo de agua, lo cual permite el suministro de una presión de gas de modo constante.

El manejo de este tipo de biodigestores es relativamente fácil; sin embargo, se estima que el costo de la campana es demasiado elevado, además de que está expuesto a la intemperie; este hecho hace que esté sujeto a la corrosión y por ello requiera de un mantenimiento de manera más continua.

Este tipo de biodigestor se coloca, habitualmente, sobre el nivel del suelo, adaptándose a cualquier situación climática y puede construirse en cualquier condición de topografía del suelo.

“Las partes principales que componen esta clase de biodigestor son: la campana, el caño guía, el caño central para salida del gas, los soportes cruzados, una válvula para el gas y una trampa de agua”.⁸

2.1.2. Biodigestor tipo hindú

Este tipo de biodigestor funciona como un sistema de flujo continuo en el cual la mezcla con la materia orgánica se hace a diario. Este biodigestor consta de una cámara de carga y descarga, la cámara de digestión que es el lugar donde se realiza la fermentación anaeróbica (que usualmente está hecha de ladrillos y cemento y construida dentro de una fosa excavada en el suelo) y también los accesorios de conducción del biogás.

“Lo que diferencia el modelo hindú del modelo chino, es que tiene como depósito de biogás una campana flotante sellada con agua. Esa campana o cúpula puede subir o bajar dependiendo de la cantidad de biogás que se produce por un aumento o disminución en la presión interna del biodigestor. Los costos de instalación son relativamente altos y la vida útil está estimada entre ocho y 12 años”.⁹

Este biodigestor usa una campana móvil, que asciende al aumentar la presión del gas dentro de ella; esta campana puede ser de metal, hormigón o plástico. El digestor está formado por un tanque de almacenamiento cuya forma es de cilindro y puede ser construido en piedra, ladrillo o bien en hormigón.

⁸ LÓPEZ, Claudia; LÓPEZ, Omar. Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de ingeniería química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. p. 27.

⁹DIAS, Emerson; KRELING, Julio. (2006). Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. p. 15.

Con el fin de permitir la entrada de materia orgánica y también la salida del biofertilizante han de utilizarse dos tubos; estos tubos conectan el tanque de almacenamiento con el tanque de carga y descarga; además ha de contar con tuberías, válvulas de corte y seguridad para que el digestor funcione correctamente.

“Los componentes que forman el biodigestor tipo hindú son:

- La caja de registro, el lugar donde se acomodan los desechos
- Un sistema de tuberías, que permite el transporte del influente de manera directa a la cámara de digestión
- El lugar donde ocurre la fermentación de la materia orgánica, que es el que permite la producción de biogás, y
- La sección de tuberías que dirige el influente que se trata fuera del sistema para luego recolectarse y utilizarse como biofertilizador.

La campana flotante es construida en acero, pero el resto de sus elementos se construyen con materiales convencionales, tales como ladrillos y bloques, entre otros.

El biogás mantiene una presión constante gracias a la cúpula de acero del sistema; este se transporta a través de tuberías hacia el lugar de su uso o hacia un reservorio. Este tipo de biodigestor bien puede ser utilizado para el tratamiento de excretas provenientes de ganado bovino y porcino.

Entre las ventajas de este tipo de biodigestores se encuentran:

- Facilidad de operación.

- Generación de biogás a presión constante y también la cantidad de biogás generada se puede observar con facilidad y rapidez debido a la posición de la cúpula de gas
- Impermeabilidad

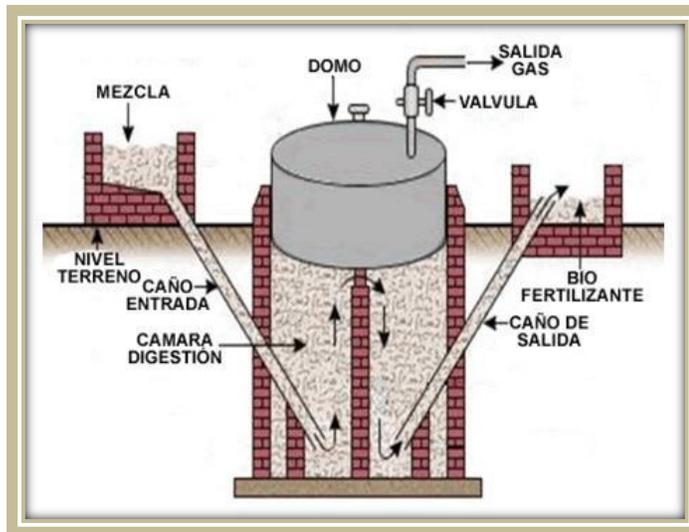
Entre sus desventajas se encuentran las siguientes:

- La cúpula de acero tiene un costo monetario alto y requiere mucho mantenimiento.
- Se necesita la remoción del óxido de la cúpula y aplicar pintura con regularidad.
- La vida útil de la cúpula de acero es relativamente corta (cerca de 15 años).
- Se limita al uso de ciertos sustratos dado que la cúpula flotante puede quedar atascada en sustratos fibrosos”.¹⁰

A continuación se muestra una figura donde se observa el biodigestor de tipo hindú y sus partes más importantes.

¹⁰ SNV. Guía: Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. p. 19-20.

Figura 2. **Biodigestor tipo hindú**



Fuente: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>. Consulta: agosto de 2013.

2.1.3. **Biodigestor tipo chino**

Su origen data desde 1960 y su uso era para la producción de fertilizante orgánico con baja contaminación de microorganismos patógenos. “La cámara de biogás en este modelo de biodigestor es fija y está sellada herméticamente; la vida útil del biodigestor tipo chino se prevé entre los 12 y los 20 años”.¹¹

La cúpula fija está unida al tanque de almacenamiento; este puede ser de ladrillo o también de elementos prefabricados de hormigón. La desventaja de este tipo de biodigestor es el alto costo en la inversión inicial.

¹¹DIAS, Emerson; KRELING, Julio. (2006). Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales. p.15.

El biogás es colectado a partir de la cúpula fija. Su composición está diseñada en mampostería y un domo fijo, este está cerrado de manera completa y en él se almacena el biogás.

La masa de fermentación se desplaza hacia el tanque de compensación y, una vez extraído el gas, el líquido regresa al biodigestor; debido a esto, la presión del gas es variable.

Se evita la formación de una capa flotante debido a las oscilaciones constantes de la masa de fermentación que se dan en la parte superior de la cúpula del biodigestor.

La vida útil de este tipo de biodigestores es larga, y la oxidación es escasa pues no posee partes móviles ni metálicas.

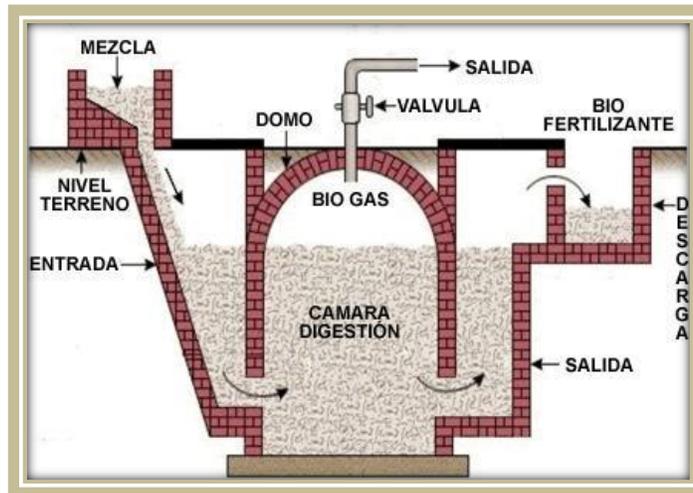
“La operación de este tipo de biodigestores es semicontinua y tiene las siguientes características de diseño:

- Sus partes son inmóviles.
- La sección es circular, con un eje vertical cuyas paredes son cilíndricas.
- Es achatado: la relación de su altura con el diámetro es pequeña.
- El techo y el fondo son dómicos, gracias a sus sectores esféricos.
- Su construcción es bajo el nivel del suelo.
- Las cámaras de entrada y salida laterales están diametralmente opuestas.
- La tapa en la parte superior del domo es removible y está perforada con el tubo de salida de gas”.¹²

¹² LÓPEZ, Claudia; LÓPEZ, Omar. Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de ingeniería química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. p. 27- 28.

La figura 3 muestra las partes que componen un biodigestor de tipo chino.

Figura 3. **Biodigestor tipo chino**



Fuente: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>. Consulta: agosto de 2013.

2.1.4. **Digestores de carga intermitente**

“Este tipo de digestores se carga una vez y se descarga cuando concluye el proceso de fermentación, o sea cuando deja de producir gas; tiene un solo orificio, el que se tapa y se destapa para cada carga. La duración de la carga oscila entre 2 a 4 meses (según el clima). En este sistema es la misma materia orgánica la que permanece de principio a fin, por lo que no hay un recambio del contenido que permita una sostenibilidad en la producción del biogás”.¹³ Cada metro cúbico (1m³) de materia orgánica produce alrededor de medio metro

¹³*Biodigestores, una alternativa tecnológica para el futuro.* Tipos de biodigestores. <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>. Consulta: agosto de 2013.

cúbico (0.5m^3) de biogás y no hay forma de generar más gas del que ya se generó.

En la figura 4 se muestra un digestor de carga intermitente observando que su instalación es sobre el nivel del suelo.

Figura 4. **Digestor de carga intermitente**



Fuente: <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>. Consulta: agosto de 2013.

2.1.5. Digestores semicontinuos

“Estos digestores tienen su uso más extenso en el área rural y se cargan diariamente con una carga relativamente pequeña y se saca también una descarga igual en volumen de líquido, a fin de mantener constante el volumen del mismo”.¹⁴ Los digestores semicontinuos tienen tres orificios: uno central el cual se cierra luego que se ha realizado la carga inicial; éste también se abre

¹⁴ *Biodigestores, una alternativa tecnológica para el futuro*. Tipos de biodigestores. <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>. Consulta: agosto de 2013.

para poder limpiar el digestor; el segundo orificio es de entrada y se puede alimentarlos de manera periódica con cantidades pequeñas de material orgánico nuevo; el tercer orificio es de salida y permite retirar de forma periódica el material orgánico que se ha degradado.

Los digestores semicontinuos permiten retirar sustrato ya fermentado a través del canal de salida y, también añadir nueva materia orgánica, obviamente por medio del canal de entrada, que una vez descompuesto genera nuevo gas. Estos digestores son adecuados para el tratamiento de material blando pero que ha sido prefermentado previo a su depósito en el digestor.

2.1.6. Digestores continuos

El digestor de desplazamiento horizontal es el que más se adecúa en el uso casero, pues los de tanque múltiple y vertical son de uso industrial, comunitario o para granjas.

“La tecnología implicada para este tipo de digestores es más especializada para realizar el tratamiento del sustrato, control de la calidad del gas resultante, plantas enteras de desulfuración, grandes compresoras, cadenas de distribución, plantas de almacenamiento, antorcha de desfogue, etc., así como un suministro muy constante de materia orgánica”.¹⁵

Su característica principal consiste en que el flujo de materia que ingresa es constante; también la disposición de biomasa para alimentar este tipo de

¹⁵ *Biodigestores, una alternativa tecnológica para el futuro*. Tipos de biodigestores. Consulta: agosto de 2013 de <http://bio-digestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>.

biodigestores se hace a diario y los tiempos de retención de estos son menores comparados con los discontinuos.

Los biodigestores, que comúnmente se clasifican dentro de los digestores continuos son los de mezcla completa, los filtros anaerobios, las plantas de lecho fluidizado, el lecho de lodos, los biodigestores tubulares y los de cúpula fija y móvil, entre los más conocidos.

Aunque en su funcionamiento son complejos, resulta útil conocerlos pues son comúnmente utilizados para tratar residuos de manera general. El diseño dictamina el tiempo de retención de la materia orgánica y el agua residual del biodigestor.

2.1.7. Digestores discontinuos

Su característica principal consiste en que el afluente se mantiene dentro del biodigestor durante tiempos prolongados dentro de la cámara de biodigestión.

Estos digestores se cargan una sola vez de manera total y su descarga se hace cuando ha dejado de producir gas combustible.

De manera común, su realización es en tanques herméticos y su salida de gas está conectada a un gasómetro flotante, que es el lugar donde se almacena el biogás.

Si la materia a procesar está disponible en forma intermitente, entonces se debe aplicar este tipo de biodigestores.

“Pueden instalarse varios biodigestores en serie, los cuales se llenan en diversos tiempos o épocas; lo anterior permite que la producción de biogás sea constante, dado que cada uno de los digestores opera en diferente etapa”.¹⁶

2.1.8. Biodigestor cilíndrico

El biodigestor cilíndrico cuenta con un ducto de entrada por el cual se abastece la materia orgánica (estiércol animal o estiércol humano, aguas sucias o residuos de matadero) añadida al agua; también tiene un ducto de salida por medio del cual la materia que ha sido digerida por acción bacteriana deja el biodigestor.

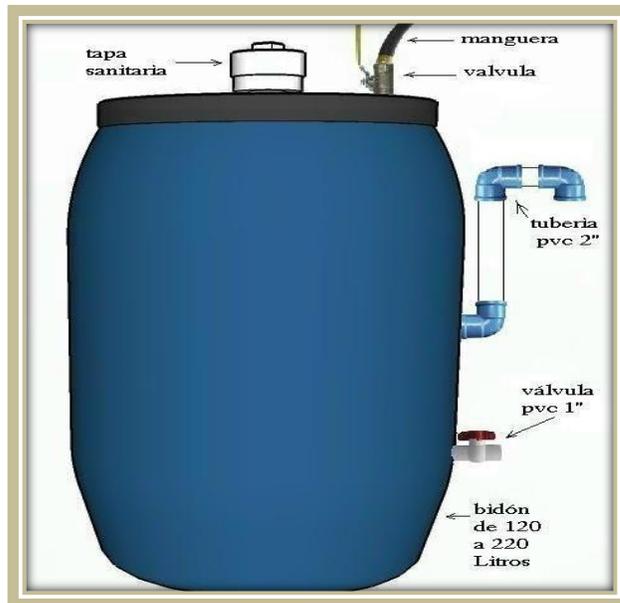
“El biodigestor cilíndrico se forma con un tanque cerrado en el cual se deposita una combinación de estiércol y de basura orgánica. El biodigestor de tipo cilíndrico consta de un tambo sin tapa, un tambo sin fondo, una válvula, una manguera, un colector de basuras y escape de presión”.¹⁷

En la figura 5 se muestra un biodigestor cilíndrico para que el lector aprecie su diseño.

¹⁶ SNV. Guía: Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. p. 14.

¹⁷ Biodigestores. Cartilla Teórico-Práctica en educación ambiental. p. 2

Figura 5. **Biodigestor cilíndrico**



Fuente: <http://energiacasera.wordpress.com/tag/biodigestor/>. Consulta: agosto de 2013.

2.1.9. **Biodigestor no cilíndrico**

Este tipo de biodigestor puede elaborarse con un material plástico de tal forma que el gas se almacene en un recipiente en una bolsa o en un domo de forma rectangular. Este tipo de biodigestor no necesita una estructura mecánica compleja.

2.2. **Biodigestor doméstico**

El digestor doméstico no presenta características de un modelo industrial y se puede elaborar con los materiales mínimos, este se usa para solucionar demandas energéticas familiares debido a que permite ahorro económico y aprovechamiento de los residuos orgánicos que se generan en los hogares.

“Un biodigestor doméstico es una solución económica para las comunidades rurales que no disponen de redes eléctricas, por otra parte es alimentado por sus propios desechos orgánicos”.¹⁸ También es posible utilizar un tambo de aceite grande para construir un biodigestor doméstico o bien una botella de 20 litros de capacidad la que es conectada a un globo metálico que se usa como reservorio para el gas. Todo ello se conecta a un mechero bunsen, como se muestra en la figura 6.

En la figura 6 se muestra un biodigestor de tipo casero el cual, como se observa, es de fácil construcción y sus componentes son reciclables.

Figura 6. **Biodigestor casero**



Fuente: Taller: Biogás. Universidad de Concepción. p. 12.

¹⁸Taller: Biogás. Universidad de Concepción. p. 11.

2.2.1. Dimensiones mínimas

La relación entre el diámetro y la longitud, deben guardar una relación entre 1: 5 y 1:10 (lo recomendable es de 1:8).

En el caso de biodigestores de polietileno, la fórmula base es:

$$\text{Vol} = \pi r^2 \times L \quad \text{Donde: } r = \text{radio} \quad L = \text{longitud}$$

L (m)	r (m)	diámetro	relación
10	0,48	0,96 +/-	1:10
8	0,54	1,08 +/-	1:8
6	0,62	1,25 +/-	1: 4,6

Los parámetros obtenidos, deben ceñirse a lo ofrecido en el mercado. Ofrecen el producto de acuerdo al ancho del rollo, con una longitud de 50 m. lineales:

$$\text{“Ancho de rollo (AR)} = \pi 2x r$$

considerando una relación de 1:8, para un $r = 0,54$; el $AR = 1,96$, siendo lo ofrecido en el mercado de: $AR = 1,5$ m.

Tomado como referencia el ejemplo 2; para un Volumen del tanque= 7325 litros (7,235 m³): $r = 0,47$ m. y $L = 10,5$ m y la relación es de 1:9”¹⁹

2.2.2. Ubicación en el terreno

La compactación del terreno es vital para darle un buen cimiento al biodigestor y así se garantiza la prolongación del tiempo de duración de la fosa.

¹⁹ Premio Odebrecht para el desarrollo sostenible. (2012). Compilación de los mejores proyectos. Implementación de biodigestores para el desarrollo sostenible de las comunidades campesinas del distrito de Reque. Perú. p. 20-21.

Debe asegurarse que el terreno se ubique en un lugar más bajo o al mismo nivel que el piso de la cocina y lo más cerca posible de la ubicación del biodigestor para garantizar un mejor y mayor flujo de gas.

La ubicación del biodigestor debe estar cerca de su lugar de utilización, es decir, cerca de los pastos y del establo, para facilitar su carga diaria con estiércol. También es importante tener un punto de recolección de agua cerca del biodigestor para facilitar la carga diaria del mismo.

El terreno debe ser llano para facilitar el trabajo de instalación del biodigestor en la comunidad donde será utilizado.

También es importante que el biodigestor capte al máximo las radiaciones provenientes del sol.

Debe evitarse la formación de charcos, por lo que se recomienda que el área circundante tenga un buen drenaje en vista de las lluvias u otros factores ambientales; asimismo, el área de ubicación del terreno debe tener una amplitud que facilite las labores de mantenimiento, manejo y protección del biodigestor. “Se estima que un área de 1 metro x 1 metro, o sea 1 metro cuadrado, es ideal para la ubicación del biodigestor”.²⁰

Dado que el volumen de residuos que ingresa por un extremo desplaza la misma cantidad por el otro lado, los residuos deben descargarse de manera adecuada. “La descarga de residuos se acumula en un tanque intermedio, que

²⁰ Recuperado agosto de 2013 de <http://www.funica.org.ni/docs/recycle.pdf>. p. 1

sirve para recircular residuo estabilizado hacia la boca de carga, de modo que se facilite el ingreso de los nuevos residuos”.²¹

Para que el biodigestor cuente con protección de la luz solar, lluvias, polvo y otras condiciones ambientales que le pueden resultar desfavorables se construirá una galera con material de segunda mano, para que los costos no sean altos para las familias, siempre que se encuentren en buen estado y sean seguros para el mismo fin.

El terreno debe contar con una plancha de concreto para evitar desniveles y mal procesamiento del biogás generado por el biodigestor. Esta plancha debe construirse en concreto para que se garantice su resistencia y durabilidad así como que los costos monetarios no sean elevados.

2.2.3. Recolección de desechos

Para la recolección de desechos deben tomarse en cuenta diversas fuentes de donde estos provengan, pues no existe una única fuente sino variedad de ellas, todas las cuales pueden proveer de materia útil al biodigestor que se propone.

Algunas fuentes de desechos las cuales se propone se tomen en cuenta al momento de poner en marcha el biodigestor, son las siguientes:

- Desechos agrícolas y animales con potencial para producir metano.
- Desechos animales: estiércoles, cama, desechos alimenticios, orina, etc.
- Residuos agrícolas: semillas, pajas, corteza de caña, etc.

²¹Recuperado agosto de 2013 de <http://www.eg-ingenieria.com.ar/catalogos/eg-ingenieria-biodigestor-prefabricado-para-residuos-organicos.pdf>. p. 3. Consulta: agosto de 2013.

- Desechos de rastros: sangre, carne, desechos de pescado, etc.
- Residuos agroindustriales: aserrín, desechos de tabaco, cascarilla de arroz, desechos de frutas y vegetales.
- Residuos forestales: ramas, hojas, cortezas, etc.

Por restricciones de tipo sanitario, y para facilitar el proceso de producción del biogás y el funcionamiento adecuado del biodigestor, las personas que recolectarán los desechos deben utilizar sistemas de manejo adecuados.

Los residuos pueden ser líquidos, semisólidos o sólidos y deben de agruparse y acondicionarse previo a iniciar el proceso productivo de biogás; Esto permitirá mejorar las condiciones de la carga y permitirá el desarrollo y la acción de las bacterias que están involucradas en la producción del biogás. La preparación anterior al proceso de producción de biogás depende de la naturaleza de los materiales de desecho.

El tamaño de los lotes de desechos recolectados es un indicador de la factibilidad de la recuperación de biogás. Para mantener un proyecto de biogás es necesario contar con los residuos suficientes provenientes de plantas y animales.

Las fincas del interior de la república de Guatemala cuentan con rendimientos de biogás disponibles que pueden utilizarse como energía, en cualquier época del año. El criterio de tamaño no es absoluto puesto que algunas fincas pequeñas pueden ser objeto de proyectos exitosos de recuperación de biogás.

La producción de biogás es, mayormente, adaptable en fincas que recolectan residuos líquidos o semi sólidos. Con ello se garantiza que las condiciones para la recolección de los residuos aseguren una alimentación continua al digestor así como una producción de gas que sea continua.

Los residuos orgánicos pueden provenir de:

- Animales: del estiércol y de la orina del ganado.
- Residuos de procesamientos de vegetales.
- Otros materiales, cuya composición debe evaluarse porque pueden afectar el funcionamiento del sistema al que favorece el biodigestor.

Estos residuos pueden provenir de:

- “Residuos industriales orgánicos: provenientes de industrias de bebidas (cervecerías); industrias piscícolas; industrias de papel y textiles; industrias lácteas; de hatos (elaboración de queso y yogurt).
- Residuos de semillas oleaginosas
- Excrementos humanos”.²²

2.2.4. Almacenamiento de los residuos

El almacenamiento de la materia prima debe ser cerca al biodigestor, si no es posible, tomar en cuenta que es mejor minimizar el transporte, ya que esto afectará la decisión de ubicación del punto de almacenamiento o del biodigestor.

²² Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 14.

Los residuos orgánicos deben contar con instalaciones de almacenamiento apropiadas, que deben estar planeadas según las condiciones y las regulaciones ambientales, y las de higiene y seguridad que sean convenientes dentro de la localidad en que se instale el biodigestor.

Se aconseja la recolección de los residuos en un solo punto de almacenamiento. Especialmente en las agropecuarias. Este tipo de instalaciones recolectan, y hacen entrega de los residuos, en el mismo punto cada día. Por ello debe cuidarse de la ubicación común de los desechos sólidos. La decisión de su ubicación debe abarcar los aspectos mencionados en el párrafo anterior así como los relativos a la economía.

Puede utilizarse una pila o tanque como punto en común de la recolección de los residuos sólidos para su almacenaje así se reduce el escape de olores. Una estructura similar, también puede ser adecuada.

Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Cuando se recolectan los residuos en un solo lugar, la carga del biodigestor es más fácil. En este lugar, se puede mezclar los residuos con agua y homogeneizarlos antes de su entrada al biodigestor.
- Si la instalación no cuenta con un lugar común de recolección, debe evaluarse la posibilidad de unir los lugares de producción o de recolección. Si existen dos o tres puntos de producción o de recolección, también debe considerarse la utilización de más de un biodigestor.

2.2.5. Cantidad de residuos

Con el manejo y control de la carga al biodigestor se pretende maximizar tanto la calidad como la cantidad de los productos, y, por ende, los beneficios ambientales y económicos del mismo.

Los demás productos serán afectados de manera directa con la producción del biogás. Se considera que el proyecto de la instalación de un biodigestor es viable cuando pueden aprovecharse todos los productos generados por el biodigestor.

Para la generación del biogás, así como su cantidad, se ha de tomar en cuenta la cantidad y la calidad de los residuos recolectados. Como es de notar, la cantidad de residuos producidos está asociada directamente con el número de animales que se encuentran en las instalaciones donde se ubique el biodigestor. Con todo, cuando los residuos son frescos y la alimentación del biodigestor se realiza con regularidad, entonces la producción de biogás es mayor.

Así, se puede decir que la cantidad de animales con que se cuenta en la instalación determina el potencial de producción de biogás que se pueda tener. También, y como es de suponerse, la cantidad de animales y la proporción de los residuos recolectados facilita determinar qué detalles técnicos se ha de tomar en cuenta al momento de realizar un proyecto de biodigestión.

Para que los residuos con que se cuenta en las instalaciones sean proporcionalmente los mismos cada ciclo, se ha de tener en cuenta que la población de animales debe ser más o menos la misma en cada uno. Esto asegura la disponibilidad de la materia orgánica dentro del proceso de

producción del biodigestor, con el fin de que las bacterias no mueran por inanición.

Para que el biodigestor funcione bien y provea del biogás necesario, la cantidad de residuos recolectados es vital. Cuando la cantidad de residuos producidos por día sea mayor que la capacidad del biodigestor se reducirá el tiempo de retención, con lo cual se disminuirá la producción de biogás; mientras tanto, si la cantidad de residuos producidos por día es menor que la capacidad del biodigestor, entonces la población bacteriana se disminuirá por causa de la falta de alimento.

El contenido del material orgánico y el contenido total de sólidos de la mezcla de carga son los encargados de maximizar la producción del biogás generado por el biodigestor.

Dependiendo del tipo de animal de que se trate y, también de la estrategia utilizada para el manejo de los residuos, así será el contenido total de sólidos en los residuos recolectados.

El porcentaje de sólidos orgánicos depende de la fisiología del animal y del régimen alimentario que se le dé al mismo. Y, dependiendo del tipo de animal, el estiércol podrá tener un contenido total de sólidos entre 8 a 25 por ciento, según el tipo de animal de que se trate.

“Al adicionar agua fresca, residual o inyectando agua reciclada se logra disminuir el contenido total de sólidos de la recolección de residuos, hasta valores inferiores al 10 por ciento, que es lo deseable”.²³

Cuando la recolección es fundamentalmente de líquidos o semisólidos se favorece en gran manera la proyección de la producción de biogás por medio de biodigestores.

Si los residuos sólidos manejados por el proyecto de que se trate no tienen buenos contenidos de agua o de humedad, o cuando son difícilmente solubles en agua, su viabilidad resulta poco recomendable. Si éste es el caso, hay que considerar otras opciones para el manejo de los residuos, tal como sucede con el compostaje, el cual se recomienda en los casos que no se cumple con lo señalado anteriormente.

2.2.6. Calidad de los residuos

Cuando se habla del rendimiento de gas, la calidad de la materia prima depende de lo fresco que ésta sea. Entre más fresca sea, se espera que el rendimiento del gas sea mayor y tenga un riesgo menor de acidificarse.

Aquellas materias primas que son ácidas o básicas inhiben y pueden también provocar daños a las bacterias existentes dentro del biodigestor.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso que se considera complejo y largo, y que puede ajustarse y adaptarse a pequeños cambios, los cambios

²³ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 16.

fuerzas de materia prima han de evitarse, teniendo siempre cuidado para realizar la mezcla con las cantidades de agua que han sido recomendadas.

2.2.7. Pretratamiento de los residuos

Se requiere diferentes tratamientos ante diversas clases de materia prima. Esto depende de la consistencia de la materia prima (qué tan diluida o sólida es su mezcla).

El pretratamiento bien puede incluir:

- “Adición de agua hasta lograr una relación de 10 partes de agua por una parte de sólidos presentes en los residuos o en la mezcla de carga.
- Separación de sólidos inertes y materiales extraños, como ladrillo, arena, gravas, troncos, etc.
- Acondicionar los residuos vegetales tales como: pasto, paja, hojas, tamo, mediante un proceso de corte o picado fino, molienda, maceración, etc. Los equipos para esto pueden ser costosos.
- Mezcla y homogenización de residuos y calentamiento”.²⁴

2.2.8. Transporte de los desechos

En el caso de un biodigestor doméstico la forma de transporte de los desechos no involucra ningún tipo de vehículo especializado, simplemente se

²⁴Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 17.

debe cuidar de instalar un contenedor en el que se pueda depositar los residuos; estos residuos pueden ser trasladados en una carretilla de mano o en bolsas para dejarlos en el depósito; en caso de que los residuos sean líquidos se instala un canal con derivación hacia el biodigestor, con la pendiente adecuada para que el materia pueda fluir.

3. DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

“Los biodigestores son también conocidos como plantas de biogás: consisten en recintos o tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un período de tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bioabono”.²⁵

Se presentan enseguida los aspectos más relevantes sobre el diseño de un biodigestor para que el lector tenga una mejor comprensión de lo que implica su instalación y funcionamiento, y pueda así entender las aplicaciones de tecnología y métodos diversos por los cuales funciona un proyecto de biodigestión.

3.1. Características físico-químicas del gas

La materia orgánica contenida en los desechos, bajo ciertas condiciones, es posible que sea tratada biológicamente por acción de microorganismos, en recipientes herméticamente sellados.

Este es un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, donde se genera una mezcla de gases que, en su conjunto, reciben el nombre de biogás. Básicamente, el proceso considera tres etapas:

²⁵ OLAYA, Yeison; GONZÁLEZ, Luis. Fundamentos para el diseño de biodigestores. p. 13.

- “Hidrólisis: en esta etapa, los substratos complejos (celulosa, proteína, lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.
- Acidogénesis: en esta etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes, hidrogeno y CO₂. Esta etapa se conoce también como fermentativa;
- Acetanogénesis: esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos substratos metanogénicos.
- Metanogénesis: en esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula”.²⁶

Considerando que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico. Los principales parámetros que influyen en la producción de biogás son:

²⁶ OLAYA, Yeison; GONZÁLEZ, Luis. Fundamentos para el diseño de biodigestores. p. 9.

- “Temperatura
- Tiempo de retención
- Relación carbono/nitrógeno
- Porcentaje de sólidos
- pH
- Agitación”²⁷
- Utilización del biogás

Los factores a considerar para seleccionar una opción de utilización del biogás:

- “Clase de energía utilizada: al utilizar electricidad, gas natural, propano o diesel como energía, es posible la utilización del biogás para reemplazar la compra de energía, también para producir electricidad, calor o refrigeración. Al utilizar biogás en proyectos de generación de energía, es posible que se obtenga combustible para motores de generación eléctrica que puedan utilizarse en las instalaciones donde se aplica el biodigestor, también es posible vender este combustible. Además es posible utilizar el biogás como combustible en hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de absorción.
- Qué cantidad de energía se utiliza y cuándo: las necesidades de energía pueden variar diariamente así como durante el paso del tiempo. Por ejemplo: la iluminación se utiliza, principalmente, durante la noche; el ordeño dos veces al día por 4 horas; es decir que, con la generación del biogás es posible sustentar las necesidades energéticas del lugar donde se encuentre ubicado el biodigestor de que se trate. Esto es posible gracias a la recolección y utilización

²⁷ALKALAY, Daniel. Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía. Reunión regional sobre Biomasa para la producción de energía y alimentos. Chile.

adecuada de los materiales orgánicos con que se cuente en la ubicación donde funcione el proyecto de generación de energía por medio de digestores.

- La producción potencial de energía respecto a las necesidades energéticas: hay que tomar en cuenta que el biogás es producido durante el año y almacenarlo por más de 12 horas es costoso. Así que, resulta mayormente rentable utilizar el biogás todo el año. Cuando se trata de calefacción y refrigeración, su uso varía con el paso del tiempo. Además, estas opciones puede que utilicen solamente una parte de la energía potencial del gas. Así que, si se diseña un sistema que supla el uso limitado del biogás en las necesidades de la localidad donde éste se encuentre no es rentable, sino solamente en el caso que el sistema sea ideado para control de olores. Por lo tanto, las instalaciones de mayor tamaño compensan más la producción de energía del biogás al utilizarlo de mayor manera en comparación con las instalaciones de menor tamaño.

- La electricidad como energía primaria requerida: hay necesidades de gasto de energía durante todo el año, tal como es el caso de las bombas eléctricas, ventiladores, motores y compresores. En estos casos la producción de electricidad para utilizarlos en estos equipos resulta ser la opción que es más viable.

- Mantenimiento de los motores de generación: considerar el acceso resulta crítico cuando se trata de mantenimiento y disponibilidad de partes y servicios”.²⁸

²⁸ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 27.

3.1.1. Necesidad de electricidad

Los hatos modernos tienen necesidad de una cantidad significativa de electricidad para operar los equipos que se facilitan en ellos. Casi en toda instalación donde se encuentren hatos se usa lámparas eléctricas para calentar y calentadores suplementarios de propano con el fin de mantener la temperatura.

De igual modo, se estima que cerca del treinta por ciento del consumo eléctrico de un hato es usado para la refrigeración de leche. Se sabe que la forma mayormente usada para la generación de electricidad consiste en un motor de combustión interna con un generador. Al recobrar el calor residual de estos motores se tiene fácil acceso a calefacción y agua caliente que pueden usarse en las instalaciones o para calentar el biodigestor, mejorando el rendimiento de energía total del sistema.

3.1.2. Combustión directa

El biogás obtenido a partir de la actividad productiva del biodigestor se puede usar de manera directa como combustible. En el interior de la república, en las instalaciones especializadas para fincas de ganado y de agricultura, se utiliza combustible de manera limitada en comparación con la electricidad, que se utiliza en las actividades diarias para mantener las operaciones de la misma.

3.1.2.1. Calentamiento

Se cataloga la operación del calentamiento como una de paso temporal. Además, las calderas y los hornos se pueden operar con biogás, a fin de obtener calor de ellos. Este, pues, sería un uso eficiente del gas, aunque puede no ser tan conveniente como el uso que de la electricidad se hace.

3.1.2.1.1. Calderas

Las instalaciones dedicadas al cultivo o cría de ganado necesitan agua caliente todo el año, la cantidad de biogás suele ser mayor que la de agua caliente requerida.

Cuando los climas son fríos se estima que todo el requerimiento de calor se puede consumir por completo, es decir, se utilizaría todo el biogás producido por un biodigestor.

Un bajo BTU (British Thermal Unit) o nivel de energía, es utilizado por el aire y combustible mezclados, pero se necesita un ajuste y quemadores alargados. En una caldera puede quemarse el biogás que no ha sido tratado.

3.1.2.1.2. Hornos

Se utilizan en donde se trabaja con ganados en lugar de calentadores de quema directa.

El biogás se debe tratar con el fin de remover el ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno para evitar su penetración en sitios donde no se quiere su presencia. Sin embargo, este tipo de unidades de quema de biogás no son muy conocido ni utilizados.

3.1.2.2. Refrigeración

Se utilizan cantidad considerables de energía para refrigeración cuando se trabaja con hatos. Se estima que, aproximadamente entre el 15 y el 30 por ciento de la carga de electricidad de un hato es usada para el enfriamiento de la

leche. Se utilizan comúnmente para esta actividad los refrigeradores a gas. En algunos casos esta puede ser una opción rentable, dependiendo de los mismos.

La utilización común de los refrigeradores a gas consiste en la producción de agua fría que se usa para enfriar leche y también, para aire acondicionado.

Hay refrigeradores de doble efecto, que producen agua caliente y fría al mismo tiempo, y están disponibles para aplicaciones de más de 30 toneladas y pueden ser acoplados al biodigestor.

3.1.3. Consumo

Los equipos que utilizan gas vienen con un diseño de fábrica y su diseño está hecho para el trabajo con gas licuado de petróleo y gas propano a alta presión, siendo necesario modificarlos o modificar el fisto que regula el flujo de gas.

Al cambiar del uso de gas licuado de petróleo o gas propano a gas natural, entonces el orificio del fisto es ampliado; y, en el caso del gas que genera un biodigestor el orificio del fisto debe ser aún más ampliado, dado que este tipo de gas es el que tiene menos presión y, con la finalidad de mantener un mismo flujo, se necesita un fisto con orificio de mayor diámetro. Sin embargo, se aconseja que este cambio sea realizado por una persona que tenga amplios conocimientos del trabajo con varios tipos de gas.

3.2. Utilización y almacenamiento del efluente

El efluente que queda después de que el gas se ha producido es bombeado a un tanque de almacenaje, y posteriormente se puede distribuirlo

directamente al suelo. Pese a ello, el mismo puede, en esta fase, ser considerado parcialmente tratado y para su almacenaje se necesita instalaciones de almacenamiento, porque los nutrientes presentes en el efluente tienen que ser aplicados al suelo o bien a los sembrados en épocas determinadas. Debe tenerse cuidado de que el tamaño de la instalación y del período de almacenaje debe ser adecuado a las necesidades de las instalaciones donde se instala un biodigestor.

El efluente puede separarse en fibra y líquido. Es de común uso la fibra para el tratamiento de los suelos o para compostaje. Mientras tanto el líquido contiene nutrientes y se usa como fertilizante, mismo que se vende o se usa en las fincas como parte del manejo de nutrientes para las siembras.

Los subproductos de la digestión anaerobia ayudan a los agricultores en la reducción de sus necesidades de fertilizantes sintéticos y otros reacondicionadores de los suelos que bien pueden ser fabricados usando métodos menos sostenibles.

Para generar alimento para los peces, se usan los efluentes del biodigestor, pues estos estimulan el crecimiento de algas en estanques piscícolas.

Se recomienda el uso del efluente como suplemento en la alimentación de animales pues tiene un alto contenido orgánico.

Para el compostaje se usan los estiércoles de los hatos, o bien, se venden solos, y también para los suelos y recuperación de los mismos. Existen mercados regionales para realizar esas ventas y pueden venderse por mayor o a consumidores directos.

Se considera nocivo el vertedero o descarga del efluente en cuerpos de agua naturales o a sistemas de alcantarillado puesto que “puede causar serios daños a los mismos y a la salud de quienes entran en contacto con ellos”.²⁹

3.3. Carga orgánica volumétrica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

“La carga se constituirá por la mezcla de un 20 a 25 por ciento de material orgánico y de un 80 a 75 por ciento de agua. Parte de esta agua puede reemplazarse por el líquido (efluente) tratado que sale del biodigestor, también conocido como biol, y de esa forma producir más biogás a expensas de obtener menos fertilizante”.³⁰

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kilogramos de material/día; kilogramos de materia seca/día; kilogramos de sólidos volátiles/día. Todos expresados por metro cúbico de digestor. Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en Kilogramos de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105° celsius hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo. El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la

²⁹ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 30-31.

³⁰ YEPES, F. (2010). Biodigestor de bidón: Pautas de uso. Publicado en Artículo Científico Energía Casera.

muestra seca a la mufla, 560° celsius durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente:

- $((\text{peso seco} - \text{peso ceniza}) / \text{peso seco})$

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es “la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material biodegradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua”.³¹

La carga de mezcla que se debe adicionar diariamente se calcula como se indica a continuación:

- $VT = CTT \times 0,75$
- $CD = VT/TR$

Siendo:

VT: volumen de trabajo en litros.

CTT: capacidad total del tanque en litros.

CD: carga diaria de mezcla que se debe añadir.

TR: tiempo de retención en días

Ejemplo: en clima cálido, para un biodigestor de 120 litros, el volumen de trabajo será 90 litros ($120 \text{ L} \times 0.75 = 90$) y la carga diaria de mezcla será 4,5 litros ($90\text{L}/20=4,5\text{L}$).³²

³¹<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>.

³²opcit.

3.4. Dimensionamiento del biodigestor

Una vez descompuesta la materia orgánica puede convertirse en metano; sin embargo, hay que tener en cuenta el volumen de gas generado, el cual depende del tipo de materia disponible. La generación de metano depende del origen de los gases y esta generación está asociada a la capacidad energética de los residuos; este asunto es de vital importancia al momento de escoger los residuos de trabajo del digestor. En la tabla I “se muestra el tipo de residuos orgánicos y el volumen de biogás generado por los mismos”.³³

Tabla I. **Residuos orgánicos y su volumen de biogás generado**

Tipos de residuos orgánicos	Volumen de biogás (m3/Kg MS)
Residuos de matadero y de la transformación de pescado	0,34 a 0,71
Residuos verdes de jardinería y agrícola	0,35 a 0,46
Residuos alimenticios	0,32 a 0,80
Residuos de la transformación de papa y cereales	Aprox. 0,48
Residuos orgánicos domésticos	0,40 a 0,58
Residuos de separadores de grasa	0,70 a 1,30
Purinas agrícolas	0,22 a 0,55

Fuente: <http://geomembranas.com.co/wp-content/uploads/2011/12/Biodigestor.pdf>. Consulta: agosto de 2013.

Las dimensiones del biodigestor dependen del espacio libre que se ha de utilizar y también del volumen deseado de gas, tomando en cuenta las

³³PAREDES, A. (2010). Mecanotecnia. Diseño de plantas de biogás (Primera parte – dimensionado de un biodigestor básico).

necesidades particulares de quienes utilicen el biodigestor y del tipo de desecho orgánico. Si han de combinarse diferentes tipos de residuos habrá que realizar un promedio del volumen de biogás generado y sobre esta base se ha de tomar la decisión de construir, o no, el biodigestor.

En la siguiente tabla se pueden encontrar las cantidades de gas producido tomando como base una cantidad en kilogramos de estiércol de diferentes animales.

Tabla II. Cantidades de gas producido/ cantidad de biomasa

Animal	Estiércol	Lt biogás/ Kg	Total (Lt biogás)
Bovino	10.5	60	600
Porcino	2.5	78	195
Aves	0.2	62	12.4

Fuente: Paredes, A. Diseño de plantas de biogás. p. 1.

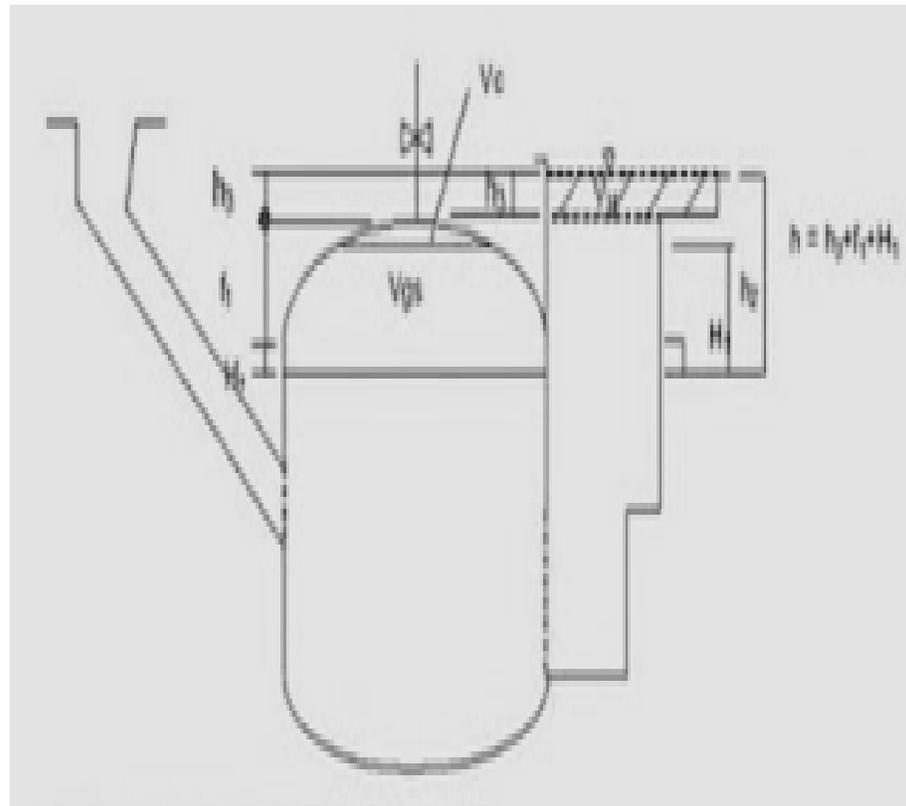
Para tener un parámetro se tiene la tabla III en la cual se establece el consumo en función de un artefacto y luego su rendimiento.

Tabla III. Relación artefacto consumo/ rendimiento

ARTEFACTO	CONSUMO	RENDIMIENTO (%)
QUEMADOR DE COCINA	300-600 L/H	50-60
LÁMPARA	120-170 L/H	30-50
MOTOR A GAS	0.5 M3/KWH O HP	25-30
QUEMADOR DE 10KW	2 M3/H	80-90

Fuente: PAREDES, A. Diseño de plantas de biogás. p. 1.

Figura 7. Dimensiones de un biodigestor



Fuente: PAREDES, A. Diseño de plantas de biogás. p.1.

Considerado todo esto se pasa a dimensionar el biodigestor. El esquema anterior establece medidas que pueden variar en función de la demanda, por supuesto que si la demanda es mayor las medidas deben aumentar en función de la misma. Con base en el esquema tenemos las siguientes variables para las medidas.

Volumen total----- $V = V_c + V_{gs} + V_f + V_h + V_s$

El volumen total viene dado por la fórmula siguiente:

$$V = 1.25 (TR) S_d$$

En donde TR es la abreviatura del tiempo de retención (expresado en días).

Significa que TR es el tiempo de permanencia que los residuos tardan en el biodigestor.

S_d (cantidad de sustrato) = biomasa + agua (en metros cúbicos por día)

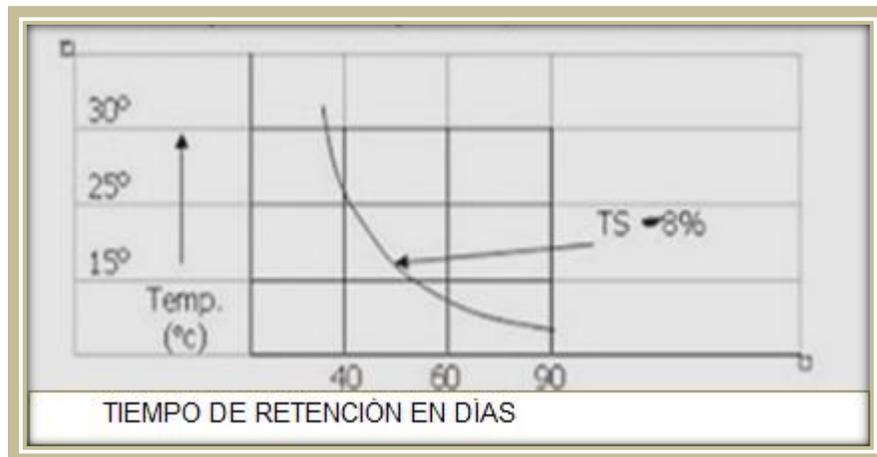
La cantidad de biomasa es simplemente el número de kilogramos o metros cúbicos por día. La cantidad total de sólidos orgánicos (líquido + sólido) debe bordear el 8 por ciento del total del sustrato para óptimos resultados en la fermentación, El cálculo se hará entonces por una regla de tres simple: Para 100 kilogramos de sustrato (S_d) necesitamos 8 kilogramos de sólidos orgánicos, luego para 1 kilogramo de sólidos requerimos de 12,5 kilogramos de sustrato.

“La cantidad de sustrato (S_d) se obtendrá multiplicando la cantidad de biomasa por la cantidad porcentual de sólidos totales contenidos (TS) por la cantidad 12,5”.³⁴

³⁴ PAREDES, A. (2010). Mecanotecnia. Diseño de plantas de biogás (Primera parte – dimensionado de un biodigestor básico).

Se puede emplear el criterio de la relación temperatura versus, tiempo, cuya gráfica puede verse a continuación, asumiendo una temperatura regulada artificialmente. La temperatura debe ser la más favorable del año; esta temperatura más la temperatura del suelo debe mantenerse en un promedio de 30° celsius.

Figura 8. **Grados de temperatura/ tiempo de retención**



Fuente: Paredes, A. Diseño de plantas de biogás. p. 1

Para calcular la cantidad de agua se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Agua} = \text{Sf} \cdot \text{Biomasa}$$

Donde el producto (TR) x Sd es el volumen de trabajo del biodigestor.

$$(\text{TR}) \cdot \text{Sd} = \text{Vgs} + \text{Vf}$$

Partiendo de esto delimitaremos una constante que se le llamará K y es la relación volumen de biogás producido por día por el volumen del biodigestor,

como el volumen de almacenamiento V_{gs} suele estar entre el 40 por ciento y el 60 por ciento de la producción diaria, en volumen, tenemos:

$$K = 0.4 \text{ a } 0.6$$

Los parámetros de operación del biodigestor que son de importancia para el óptimo funcionamiento y que son necesarios en su medición son los siguientes:

- “La constante K la cual se denomina producción específica de gas, delimitada por G_p , en donde $G_p = G/V_d$. (en metros cúbicos de gas por día/ metros cúbicos del biodigestor).
- La carga del biodigestor, delimitada por L_d , que es la entrada de sólidos totales (TS) o volátiles (VS)

Entonces: $L_d = \text{Kgs. de TS o VS/metros cúbicos del biodigestor}$.³⁵

3.5. Tipos de materiales

Existen diversos materiales con los cuales se puede construir o elaborar un biodigestor, la elección del material depende de las dimensiones y el volumen de producción que exige la demanda.

³⁵ PAREDES, A. (2010). Mecanotecnia. Diseño de plantas de biogás (Primera parte – dimensionado de un biodigestor básico).

3.5.1. Polímeros

El material más económico y tal vez el más utilizado en la mayoría de países, en los que se construyen biodigestores en las zonas rurales, es el polietileno tubular transparente con un espesor que oscila entre las 200 y 250 micras.

3.5.2. Concreto

Consiste en una mezcla de cemento, agregados denominados inertes, que por lo general son la grava y la arena y que forman el esqueleto del concreto y a los que se les adiciona agua; todo ello se endurece luego que ha transcurrido un tiempo de mezclado. El agua produce, por fraguado, el endurecimiento del cemento hasta volverse muy sólido. El concreto es un material común que se utiliza en la elaboración de biodigestores de pequeñas y medianas dimensiones, aunque, también se utilizan bloques fabricados con piedra pómez.

3.5.3. Arcilla

La aplicación de este material se manifiesta cuando el cuerpo de un biodigestor se elabora de ladrillos. El adobe suele ser un tipo de arcilla salvo que no lleva un proceso de cocimiento y se puede ser empleado en su estado natural.

3.5.4. Metal

Para los depósitos metálicos se utilizan planchas de acero inoxidable desde 1mm de espesor; este material se utiliza en instalaciones de grandes dimensiones como las usadas en la industria.

3.6. Fijaciones de los materiales

El método de fijación de los materiales depende en gran medida del diseño, porque si se utiliza ladrillo de arcilla es lógico que se tenga que usar mezcla de cemento y arena para poder fijarlos; si se utiliza metal el método será por medio tornillos y soldaduras, pero si se usa polietileno puede utilizarse algún tipo de remaches o roblones que permitan el sellado de la cámara biodigestora.

3.6.1. Aglomerantes

Dentro de las formas más comunes de fijación de materiales para la elaboración de un biodigestor están los materiales aglomerantes estos son: cemento, yeso, mortero, hormigón.

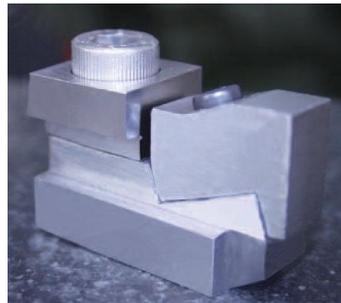
3.6.2. Soldadura

Cuando se utilizan materiales de características metálicas se utiliza el sistema de soldadura por medio de arco eléctrico o bien soldadura oxiacetilénica. La soldadura en polietileno es utilizada en construcción de tanques, fosas sépticas y biodigestores útiles para sistemas de conducción, sistemas de almacenamiento y de evacuación de aguas.

3.6.3. Bridas y tornillos

Las bridas se utilizan en las entradas en donde se tiene que fijar la tubería para que no se zafe y se puedan realizar tareas de mantenimiento con facilidad. Así se logra una sujeción con más seguridad y con mayor facilidad para desarmar cuando se necesite realizar un cambio en la misma.

Figura 9. **Bridas de sujeción**



Fuente: <http://metalactual.com>. Consulta: agosto de 2013.

Los tornillos son el método de fijación más económica existente y hay una amplia gama de ellos en el mercado. Usando tornillos se logra, en las partes a fijar, más fuerza por unidad de área.

3.6.4. Tuberías de conducción

Las tuberías que se aplican en un biodigestor son de dos tipos: la primera, que introduce la materia prima a la cámara y que es del mismo material que la que elimina el bioabono después del proceso; y la otra es la que conduce el gas hacia la parte en donde opera la demanda.

3.6.5. Quemadores de biogás

Los quemadores de biogás son accesorios usados en la cocina; las presiones del fluido que soportan son diferentes a los que utilizan gas licuado, por eso su fabricación es especial. Su diseño estará basado en base al flujo de biogás utilizado por el biodigestor.

Su fabricación ha de realizarse de preferencia con placa de acero inoxidable con un diámetro mínimo de 18 pulgadas. Éste contendrá un elemento aislante en el interior de la cámara de combustión que resista temperaturas superiores a las que se puedan alcanzar durante la combustión del gas.

La combustión dentro del quemador se debe llevar a cabo en una cámara cerrada que garantice eficiencias superiores al 90 por ciento.

Dichos sistemas deberán garantizar el encendido constante al emitir chispas para ignición del gas cada 2 a 5 segundos.

Además, contará con boquillas de alta eficiencia y detectores de flama que aseguren que, “en caso de extinción de la flama, se corte el suministro de biogás y se evite así, la posibilidad de explosión”.³⁶

³⁶ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción y biodigestores en México. p. 26

4. IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR

Para lograr una correcta y acertada implementación de un proyecto de producción de biogás, por medio de un biodigestor, se debe tener en cuenta los aspectos relativos a costos así como a la viabilidad del mismo bajo el punto de vista del beneficio monetario observado gracias a la implementación de un proyecto de esta especie.

En seguida se encuentra una descripción de los aspectos vitales para la implementación de un biodigestor de tipo doméstico que es el que utiliza, y se sugiere, con el fin de obtener los beneficios esperados del mismo en su uso dentro de la comunidad que decida instalarlo y ponerlo en operación.

4.1. Costo de diseño

El costo de un biodigestor depende de las condiciones de obtención de la biomasa o materia que se utilizará y de las medidas así como de la demanda que necesita cubrir. El costo de diseño se verá afectado por la facilidad en la obtención de las excretas animales que se utilizarán en el proceso.

4.1.1. Estudio

En la fase de estudio se debe agotar en principio la prefactibilidad de poder elaborar e instalar un biodigestor, con el fin de establecer si se contará con los elementos suficientes para poder generar los insumos necesarios para la producción del gas.

4.1.2. Planificación

En esta fase se deben considerar varios ejes importantes para la elaboración de un biodigestor:

- Búsqueda de información
- Visita de campo
- Recolección de datos
- Análisis de datos
- Diseño del Biodigestor
- Presupuesto
- Financiamiento
- Construcción
- Puesta en operación
- Mantenimiento

4.2. Modelo de negocio

El propósito de un proyecto de generación de biogás consiste en maximizar los ingresos y minimizar la inversión. Los siguientes objetivos se asocian con el tratamiento de residuos orgánicos: producción de energía (eléctrica o calórica), evitar o reducir emisiones de gases de efecto invernadero y lluvia ácida, producir compuestos de valor económico y contribuir a la calidad de los suelos y al reciclaje.

Por lo anterior, el planteamiento de un proyecto de digestión anaerobia no debe verse bajo un esquema exactamente de negocio, sino bajo una concepción estratégica y de oportunidad que se ofrece a la comunidad donde se propone la instalación.

4.2.1. Desarrollo de nuevas plantas

Para lograr el éxito deseado en el desarrollo de nuevos proyectos y que se obtenga la rentabilidad deseada se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- El marco legal (lo que incluye los trámites, los permisos, etc.)
- La facilidad de disposición y la seguridad que se haga de los sustratos.
- La tecnología y el diseño de ingeniería, seleccionados y ocupados.
- La rentabilidad y tipo de negocio que se desee tener.

4.2.2. Volatilidad de los sustratos

No resulta viable un proyecto de producción de energía por medio de la generación de biogás cuando no hay garantía de suministro del sustrato con el cual se producirá el combustible requerido. Para que el negocio exista y subsista debe haber una garantía de la obtención de este suministro. Es decir, debe lograrse el compromiso de quienes van a surtir el suministro de residuos a la planta de que se trate, y esto es igual en el modelo centralizado como en el individual.

Si el proceso es de carácter codigestivo, la situación puede ser más complicada puesto que se debe tener la garantía del suministro de diversidad de residuos que pueden producir más cosustratos en la mezcla. Existe reducción en la eficiencia de la producción de biogás cuando se utilizan procesos con digestiones de monosustratos.

Cuando se reduce la incertidumbre en el suministro de los residuos, también se reduce el riesgo del negocio lo que garantiza una mayor viabilidad a largo plazo del proyecto o negocio de producción de biogás.

Es necesario, también, “considerar el costo del transporte y del sustrato en los costos totales del negocio, pues estos pueden afectar al mismo”.³⁷

4.2.3. Modelos de negocio

La viabilidad de un negocio está supeditada a la disponibilidad del sustrato y la rentabilidad y modelo de negocio, claro está, luego de cumplir con lo requerido en el marco legal y tecnológico.

Existe el modelo de tratamiento centralizado, que consiste en la construcción de una planta que usa digestores en la cual se trata conjuntamente sustratos procedentes de diferentes instalaciones, en la que se almacena el biogás y se lo valoriza energéticamente. Este tipo de negocios puede ser administrado por medio de una entidad privada o pública.

También existe el modelo de gestión individual, el cual sirve para el tratamiento del residuo en el lugar donde se realiza la producción. Consiste en un proyecto que usa digestores, por medio de los cuales se trata de cubrir una sola instalación que se encuentra sólo o en combinación con otros sustratos; en ésta se almacena biogás y se lo valoriza en términos energéticos. Este tipo de negocio también puede ser atendido por medio de una entidad privada o pública.

³⁷ Agencia Andaluza de la Energía. Estudio básico del biogás. p. 107-108.

A continuación se explica de manera breve en qué consiste cada uno de estos tipos de negocio.

4.2.3.1. Modelo de gestión centralizado

Su facilidad consiste en la logística de transportar otros residuos para realizar codigestión pero tiene mayores riesgos en el suministro de sustrato. En este tipo de modelo se incrementa la eficiencia del proceso y, por tanto, la producción de metano.

Una valorización en el balance energético es necesaria en cuanto al transporte de los residuos hacia el proyecto se refiere. O sea que, para que el proyecto sea eficiente hay que valorar de manera adecuada el transporte de los residuos hasta la planta centralizada y de esta manera se sabrá si existe eficiencia energética, tomando en cuenta la distancia máxima hasta la cual se podría hacer el transporte de los residuos.

El modelo centralizado tiene como ventajas:

- Permite el control de operación especializado mejorando la eficiencia.
- Permite la implantación de un centro de gestión integrada de residuos orgánicos.

Sus desventajas son:

- Requiere de una alta inversión al inicio de las operaciones y de la instalación del proyecto;
- Costear, con gastos adicionales, el transporte de los residuos hacia la planta de producción del biogás;

- Si se encuentra lejos de potenciales consumidores de calor, no existe buen aprovechamiento térmico fuera, o lejos, del proyecto de producción de biogás;
- Requiere de personal muy específico para la explotación de la planta;
- Ampliar las instalaciones centralizadas podría ser más costoso de lo que se desea así como que se requiere un aumento considerable de residuos con el consiguiente personal y medios que se requieren para realizar el transporte de los mismos;
- “Si la planta es de grandes magnitudes, el costo del transporte también lo será puesto que los residuos podrían encontrarse a distancias más largas y,
- Son plantas de gran complejidad para su operación y mantenimiento así como para la realización de los procesos productivos de la misma”.³⁸

4.2.3.2. Modelo de gestión individual

El modelo de gestión individual es menos flexible cuando se trata de la eficiencia productiva de metano y de la posibilidad de codigestión. Sin embargo, conlleva menores riesgos en el suministro de residuos.

Para que sea funcional el modelo debe garantizar que el proceso de biodigestión esté integrado a la planta de manera congruente con los propósitos para los cuales fue ideada.

Las ventajas de este tipo de modelo consisten en las desventajas del modelo anteriormente citado, es decir las siguientes:

³⁸ Agencia Andaluza de la Energía. Estudio básico del biogás. p. 108-109

- Requiere una inversión inicial baja;
- No es necesaria la transportación de residuos con un costo adicional, solamente los costos asociados con la producción del cosustrato cuando éste no sea producido en la planta;
- Es posible el aprovechamiento térmico puesto que está asociado a la instalación que produce el residuo mismo;
- No se requiere personal específico ni ajeno a la planta pues es éste quien realiza las operaciones de explotación de la misma;
- Deben ser plantas sencillas que permitan la facilidad en su explotación;
- Siendo esta modular, es mayormente flexible puesto que permite adicionar módulos cuando se requiera el aumento en la producción de residuos y las inversiones asociadas a éstas no son tan altas,
- Ya que existe un acuerdo entre la producción de residuos y el tamaño de la instalación, se supone que el costo de transporte de la materia prima no es excesivo.

Las desventajas de este tipo de modelo son las siguientes:

- No existe especialización en el control de las operaciones, por lo cual optimizar los rendimientos se hace más difícil,
- Debido a la poca posesión de medios para traer y gestionar cosustratos, la codigestión es más difícil así como que no se cuenta con personal especializado para ello.

4.2.3.3. Individual en comparación al centralizado

Se asume que el sistema individual tiene más pujanza: porque requiere menos inversión y es más independiente de los factores externos a la explotación. Aparte de ello, este tipo de planta puede integrarse en la gestión del negocio principal y con el mismo personal, lo que no crea una actividad ajena a la explotación del negocio principal en el cual está incluida.

Debido a ello los ingresos son más fiables, aunque menores. Además “asegura la viabilidad a largo plazo de las instalaciones (durante el periodo que dure el negocio principal en el cual está adherido)”.³⁹

4.3. Rentabilidad

Es difícil estimar la rentabilidad de este tipo de plantas, dada la diversidad de factores implicados en ellas. Sin embargo, se presentan los que se cree son los más relevantes.

4.3.1. Costos de inversión

Calcular los costos de inversión resulta complicado y variable dadas las diversas ubicaciones y los diversos tamaños que pueden adoptar este tipo de plantas. Con todo, la inversión en una planta de biogás dependerá del tamaño de la instalación y del caudal de tratamiento.

Para dar el valor correcto a los costos de inversión de este tipo de plantas se toma en cuenta los siguientes aspectos:

³⁹ Agencia Andaluza de la Energía. Estudio básico del biogás. p. 110.

- No se toma en cuenta el costo del terreno donde se ubicarán las instalaciones de la planta;
- No se toman en cuenta las subvenciones,
- Se toma en cuenta que la inversión se realiza con capital propio, no ajeno.

4.3.2. Ingresos de explotación

Los ingresos de explotación considerados potenciales en un proyecto de producción de biogás podrían venir de las siguientes fuentes:

- De la producción de electricidad,
- De la producción del compostaje,
- De la producción de calor,
- Del canon de tratamiento de los residuos.

De los ingresos anteriormente citados, que por cierto son potenciales, el que cuenta con mayor seguridad de producirse y del cual se puede suponer la generación de mayores ingresos es el que se refiere a la producción de electricidad, puesto que queda asegurado, al menos durante 15 años, debido a las tarifas introducidas dada su producción bajo régimen especial.

Dado que se obtienen productos de baja calidad, la producción del compostaje y su mercado es variable y los clientes no tienen mucha confianza en el mismo.

En plantas centralizadas no se considera viable la exportación de calor, puesto que el potencial ingreso por producción de calor se reutiliza y consume en el mismo proyecto; además puede ser que las distancias entre las plantas

ganaderas, agrícolas o industriales no justifiquen el uso de este como justificación para su producción y autoconsumo.

El tratamiento de residuos a un proyecto de producción de biogás puede ser gravado con un canon, pero esto implica un rechazo inicial para el productor, puesto que el costo actual de tratamiento es 0, en muchos casos. Es necesario que se estudie el canon en el plan de negocios específico de cada proyecto porque de su estudio especializado se obtendrá el margen de rentabilidad que este pueda tener sobre ella.

4.3.3. Gastos de explotación

Se consideran gastos de explotación los relativos a: seguros, gastos financieros, amortizaciones, recurso humano, viáticos, repuestos y mantenimiento, entre otros.

También hay que tomar en cuenta otros tipos de gastos al momento de realizar los estudios previos a la decisión de iniciar un proyecto de producción de biogás, los cuales son:

- El costo de tratamiento de gases para que puedan ser empleados como combustible en motores eléctricos;
- El costo de depuración de las aguas residuales (una vez realizada la separación de la fracción sólida que va a ser compostada,
- El costo de preparación del compostaje.

Cuando se trata de estudios económicos se debe tomar en cuenta que no se suelen considerar los gastos de compra de residuos (dado que estos pueden tener un valor de mercado).

4.4. Aspectos claves para la rentabilidad

La rentabilidad económica va a depender en gran manera de las condiciones locales reales de ingresos, es decir, de las condiciones de la localidad donde se ubique el proyecto de producción de biogás (país, región, etc.) y del suministro de sustrato, o sea del tamaño de la explotación que garantice y cree la planta.

Debe asegurarse de antemano la obtención de la materia prima, puesto que las plantas de producción de biogás se encuentran en el límite de rentabilidad, así como fijar un canon de tratamiento, todo lo cual permite asegurar la venta de compostaje y de calor.

También hay que tener en cuenta que la subida de los precios de la producción de electricidad puede ser variante, por lo que se recomienda tomar en cuenta este aspecto.

La inversión depende del tamaño de la explotación que se haga en el proyecto de que se trate. Por ello, se recomienda el cambio a tecnologías que resulten más básicas para el sostenimiento de la planta, especialmente cuando se tenga la necesidad de reducir el tamaño o la cantidad de producción de la misma. Puede darse el caso de que existan subvenciones para este tipo de proyectos, lo cual favorece la rentabilidad del mismo.

Se sabe, por diversos autores, que hay rentabilidad asegurada cuando la producción es de más de 30 metros cúbicos por tonelada de residuo.

Cuando se toma la decisión de ampliar la planta, es decir, cuando exista un incremento en su tamaño la inversión unitaria se reducirá pero se

incrementarán los gastos en las instalaciones complementarias que se utilizarán para el tratamiento de los materiales, pues “se incrementará el caudal de tratamiento y también la necesidad de tratamiento de un volumen mayor de residuos con un volumen superior de digestatos”.⁴⁰

4.5. Generación de empleo

Se considera que el empleo generado en este tipo de proyectos es bajo. También se considera que para proyectos individuales se emplea a una persona a tiempo parcial; mientras tanto, en plantas centralizadas el número de personas utilizadas varía entre 2 y 4 personas.

4.6. Costo de materiales

El costo de los materiales oscila entre Q.700,00 y Q.750,00; este valor dependerá del lugar en donde sea instalado el biodigestor; por otro lado, también depende del tamaño y de si los materiales utilizados para su construcción son reciclados como el tambo o tuberías; lo que se pretende con la utilización del biogás es la reducción en el uso de recursos para la combustión y garantizar una auto generación de energía. Para que el costo de los materiales sea bajo se deben considerar alternativas de utilización de los mismos, los cuales se encuentran en la zona de elaboración del biodigestor.

Estos costos son los que en promedio ofrecen diferentes centros ferreteros de la ciudad, donde se estima que la compra de materiales es accesible para el común de la población. Y, a fin de garantizar el ahorro en los precios observados en este proyecto se deben adquirir los materiales en centros de este tipo, que, claro está, se encuentren cerca de las comunidades

⁴⁰ Agencia Andaluza de la Energía. Estudio básico del biogás. p. 116-117.

en donde se decida la instalación de este tipo de digestores, todo lo cual permitirá un ahorro en transporte de los mismos.

Como es costumbre, el ahorro en materiales puede llevar a la reutilización de algunos que ya sean de segunda mano. Esto no es aconsejable si se desea que el biodigestor funcione de manera adecuada entregando los productos que de él se esperan.

En el caso del tambo o tanque, este puede ser reciclado toda vez que cuente con la garantía de reutilización sin fugas, que esté aseado y limpio, libre de partículas indeseables que puedan perjudicar el proceso de la formación de biogás; preferentemente que haya sido utilizado anteriormente para la contención de agua pura o de grifo y que no haya almacenado productos químicos procesados de ninguna especie (petróleo, gasolina, etc.).

4.6.1. Cálculo de materiales

Una de las razones constructivas que han provocado que las plantas de biogás con fines domésticos no funcionen con eficiencia es la inadecuada relación entre el volumen del digestor, el volumen de la cámara de fermentación y el volumen de la cúpula. En forma general, para uso en iluminación y cocción de alimentos se deben contar con cúpulas capaces de almacenar el 60 por ciento de la producción diaria de biogás.

Los materiales necesarios para la construcción del biodigestor, son básicamente los mostrados en las tablas IV, V y VI, como se detalla a continuación.

Tabla IV. **Materiales necesarios para el reactor y la entrada de materiales**

Nombre	Descripción	Costo (Q.)
Tanque o tambo de polietileno	Entre 120 y 220 litros de capacidad	250,00
Tapón de limpieza sanitario	4 pulgadas	90,00
Segmento corto de tubo	4 pulgadas	10,00
Reducción PVC	4 pulgadas a 3 pulgadas	12,00
Tubo PVC sanitario	3 pulgadas	10,00
Total		372,00

Fuente: elaboración propia.

Aparte de la descripción de los materiales mencionados en la tabla IV, es necesario hacer notar que, el tapón de limpieza sanitario es una especie de adaptador con tapón enroscable.

También hay que hacer notar que, el segmento corto de tubo pasa a través de la abertura y conecta el adaptado tapón en el exterior con la reducción en la parte interna del tanque. Este debe ser suficientemente corto para permitir que tanto la reducción como el adaptador-tapón aprisionen la pared de la tapa del tanque y así permitir una mejor sujeción y sellamiento. También se pueden usar bridas sanitarias pegadas con silicona al tanque.

Además de esto, el tubo PVC sanitario va desde la reducción hasta 5 centímetros antes del fondo del tanque.

Mientras tanto, para la salida del efluente se requiere de los siguientes materiales.

Tabla V. **Materiales necesarios para la salida del efluente**

Nombre	Descripción	Costo (Q.)
Adaptador de tanque	2 pulgadas	7,50
Tubo PVC	2 pulgadas	19,00
3 codos PVC	2 pulgadas	30,00
Adaptador de tanque	1 pulgada	9,00
Válvula de esfera PVC	1 pulgada	20,00
Total		85,50

Fuente: elaboración propia.

De estos materiales hay que resaltar que, el tubo PVC de 2 pulgadas se utilizará para la tubería de la salida del efluente. El adaptador de tanque se utiliza para conectar la válvula, mientras que la válvula de esfera PVC se utiliza para la salida inferior del efluente más pesado.

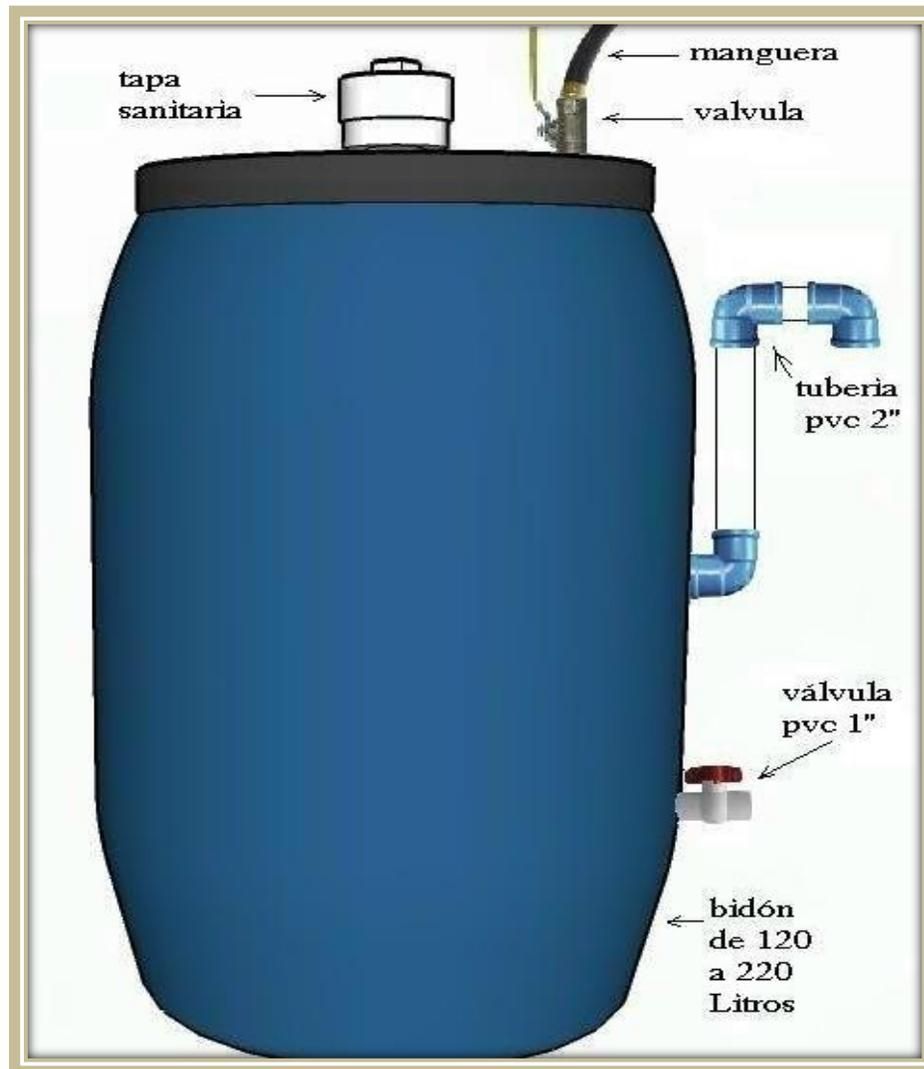
Tabla VI. **Materiales necesarios para la salida del biogás**

Nombre	Descripción	Costo (Q.)
Conector de tanque	½ pulgada	10,00
Válvula de esfera con roscas	½ pulgada	110,00
Adaptador para manguera	_____	3,00
Manguera	_____	8,00
Total		131,00

Fuente: elaboración propia.

Para unir las partes y sellar se necesita soldadura (pegamento) para PVC (que tiene un costo de Q.75,00) y silicona selladora transparente (con un costo de Q.39,75) que sea resistente a los hongos; esta silicona selladora se utiliza para sellar alrededor de las uniones del tanque y así impedir la filtración.

Figura 10. **Modelo de biodigestor doméstico a utilizar en el proyecto**



Fuente: Taller: Biogás.Universidad de Concepción. p. 11.

Los principales parámetros constructivos del biodigestor son:

- Vd. – volumen del digestor

- V_{cf} – volumen de la cámara de fermentación
- h_{cf} – altura de la cámara de fermentación
- d_{cf} – diámetro de la cámara de fermentación
- r_{cf} – radio de la cámara de fermentación
- r_c – radio de la cúpula
- h_c – altura de la cúpula
- V_c – volumen de la cúpula

Las operaciones de cálculo contemplan la determinación de los parámetros constructivos que determinan la geometría de la cámara de fermentación y la cúpula. Concluida esa etapa se pasa a establecer la interrelación entre el digestor, el tanque de fermentación y la cúpula que responda a las condiciones preestablecidas. El cálculo se basa en determinar los valores del diámetro (d_{cf}) y la altura (h_{cf}) de la cámara de fermentación y el volumen de la cúpula (V_c) calculando el volumen del biodigestor (V_d), mediante alguna de las expresiones (1), (2) o (3), y recordando que el volumen de la cámara de fermentación (V_{cf}) representa entre un 75 por ciento ~ 80 por ciento y la cúpula entre un 25 por ciento ~ 20 por ciento del digestor, se emplea la expresión del volumen de un cilindro.

Pero esta es una ecuación con dos incógnitas, por lo que no se puede resolver todavía la misma, pues no se tienen los valores del diámetro y la altura de la cámara. Se asume la relación d/h como un valor conocido. Teniendo estas expresiones, se le dan valores a X , y así se determinan los parámetros constructivos del digestor. “Para determinar cuáles son los valores óptimos de los parámetros para la construcción del digestor se busca la interrelación entre

el digestor, la cámara de fermentación y la cúpula, según las condiciones preestablecidas”.⁴¹

4.7. Implementación

Para la implementación del biodigestor hay que tomar en cuenta diversos aspectos importantes para la construcción del mismo entre los cuales se encuentran los que enseguida se mencionan:

Para la ubicación del biodigestor se ocupará una plancha de concreto para colocar el tambo sobre el mismo a fin de que sea más seguro su uso y acomodación en el terreno. Esta plancha puede ubicarse fuera de las instalaciones del hogar donde se utilice.

Además, son las familias de la comunidad quienes deben participar en la realización del biodigestor a fin de que comprendan el funcionamiento, uso y riesgos del mismo para que tengan la capacidad de manejarlo de manera adecuada e independiente como familia o comunidad.

El prototipo del biodigestor correrá por cuenta de Promotora General pues es esta quien cuenta con instalaciones seguras para el diseño y construcción del biodigestor modelo y quien debe probar que el biodigestor es seguro y recomendable previo a su promoción y venta futura.

La construcción de una galera para la protección del biodigestor es recomendable para protegerlo de las lluvias, polvaredas o cualesquiera otras condiciones ambientales que le resulten desfavorables al biodigestor; esta

⁴¹Ciencias Técnicas Agropecuarias. (2011) Artículo metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. Volumen 20. No. 2.

galera se contruirá con materiales de segunda mano que se encuentren en buen estado, y que sean reciclables, para favorecer al ambiente y para reducir los costos al realizar el proyecto.

4.7.1. Construcción e Instalación de Accesorios

- Una válvula de alivio de presión

En los biodigestores plásticos libera la presión límite máxima dada su fabricación y evita que se deforme el PVC causando escapes de gas en el conector.

- Una válvula de purga de agua

Esta se coloca en la parte más baja de las tuberías; también retira el agua que se forma por condensación en el interior de la instalación.

- Un conector para la estufa

Accesorio que conecta el gas hacia la zona de consumo.

- Manómetro de presión

Controla la presión y facilita saber si se está produciendo gas en la cámara de biodigestión. Cuando no hay lectura del mismo, hay que revisar si no existen fugas.

- Trampa de agua

Es un mecanismo que permite la evacuación del agua, pero que no deja que el gas se escape.

4.7.1.1. Determinación del área

El área usada para la instalación de un biodigestor depende del tipo de producción de biogás a generar; hay que tomar en cuenta que el depósito en donde fluirá la materia prima no esté próxima a lugares donde pueda generar malos olores o bien contaminación.

4.7.1.2. Construcción del biodigestor

Los tamaños y medidas del biodigestor dependen del lugar seleccionado y de las necesidades específicas de las familias. La elección de los materiales depende del modelo o diseño que se haya planificado, si se elabora un biodigestor pequeño solo se requiere un cilindro o anillo; además se instalan los accesorios en pvc (tubos, codos, uniones, etc.).

Básicamente, el biodigestor se construye con un tanque de polietileno con capacidad entre 120 y 220 litros. Al tanque se le hacen dos agujeros laterales y dos agujeros en la tapa. Uno en la parte lateral inferior para la válvula de 1 pulgada y otro en la parte media para la salida del efluente. De los agujeros que se hacen en la tapa, uno es para la entrada de material y el otro es para la salida del biogás.

Un depósito de campana flotante se utiliza para almacenar el biogás y su construcción se realiza con dos tanques (un tanque grande donde se

deposita el agua y otro más angosto que se coloca boca abajo dentro del anterior). La manguera que viene del digestor debe introducirse al tanque mayor y este hace burbujas de modo que el gas sube y queda atrapado en el tanque menor que tiene una válvula para la salida del gas con una manguera y cuenta también con una trampa de agua.

4.7.1.2.1. Obtención de materiales

La obtención de los materiales a utilizar debe hacerse en los comercios más cercanos a la zona o comunidad para disminuir los costos de transporte y agilizar de esta forma la construcción; la mayoría de materiales se puede encontrar en las ferreterías o comercios vinculados con la construcción.

4.7.1.2.2. Aplicación de mano de obra

En la elaboración de un biodigestor se utiliza mano de obra local, ya que los diseños que existen hasta la fecha permiten que las personas con la más mínima instrucción puedan desarrollar la construcción, el acarreo de materiales, y la instalación de los componentes del biodigestor.

- Obra civil

El proceso relacionado con la obra civil se focaliza en la preparación de la losa de biodigestor y se elabora con una mezcla de cemento, arena y agregados; la elaboración de la construcción periférica de las paredes que forman la cubierta externa y de soporte de la cámara del biodigestor debe contar con la guía de un albañil y el ingeniero proyectista.

- **Manufactura mecánica**

Los biodigestores de tipo doméstico no están sujetos a manufactura mecánica ya que la mayoría de materiales que se aplican no son metálicos; si se habla de un modelo metálico si se requiere un análisis y presupuesto relacionado con manufactura mecánica.

4.7.2. Aplicación de los desechos orgánicos

La aplicación de los desechos se realiza de una forma manual por medio de la obtención de palas y carretas de mano; se puede aplicar los desechos orgánicos de animales y desechos orgánicos separados que tengan un valor de obtención que permita la generación del gas.

4.7.3. Monitoreo y control de obtención del metano

El monitoreo de la producción de metano puede lograrse con la colocación del gasómetro en la línea de conducción del gas; de esta forma se sabrá, con mayor certeza, si se está produciendo el biogás; también cuando la bolsa está llena se observará inflado el depósito. La obtención del metano se puede realizar llevando un control del tiempo de la primera aplicación de los desechos y procurar mantener el suministro cuando los mismos hayan cumplido con la producción.

4.8. Costo beneficio de la producción de metano

El costo beneficio del proyecto se determina por las entradas y salidas entregadas por el biodigestor, que debe valorarse en términos económicos. Los beneficios directos del uso de la biodigestión se estiman en base al uso del

biogás. El valor neto en calorías de un metro cúbico de biogás equivale a la energía emitida por la combustión de 0,55 litros de diésel. Así, la producción anual de 693,50 m³ de biogás (50 días de retención) equivale a 381,43 L de diesel y 591,30 m³ (40 días de retención) equivalen a 325,22 L de diesel.⁴²

La demanda de biogás utilizada en diferentes equipos del hogar es la que se describe en la tabla VII.

Tabla VII. **Demanda de biogás utilizado en diferentes equipos**

Equipo	Características	Consumo (m³)
Lámpara	Equivalente aproximado a 100 W.	0,09
Cocina	Por hornilla standard	0,40
Horno		0,44
Nevera	1 quemador - inyector	0,15

Fuente: GUEVARA, A. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. p. 54.

⁴² AGUILAR, Francisco. y Botero-Botero, R. (s.a.). Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. p. 8.

Se estima que el rendimiento de 150 litros de biogás equivalen a 75 grs. de gas envasado; el gasto mensual de gas envasado en una familia tipo es de 15 kilogramos, o bien 200 gr. por día.

Si 150 litros equivalen a 75 gramos de gas envasado, entonces 220 litros equivaldrán a 110 gramos de gas envasado, lo cual da el consumo de cerca del cincuenta y cinco por ciento de gramos requeridos al día (110 gramos / 200 gramos de consumo diario) en una familia promedio. El biodigestor viene a representar un paliativo al uso de gas convencional con los beneficios consecuentes de enriquecimiento del suelo, pues sus desechos pueden utilizarse como abono para los suelos de la comunidad.

En Guatemala, el costo de un cilindro de gas de 35 libras es de Q.168,00, con lo que cada libra cuesta Q.4,80. Esto equivaldría a un consumo de gas de Q. 2,31 al día, equivalentes a Q.843,15 al año (utilizando el biodigestor durante todo el año).

Beneficio/costo es el cociente de dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (IT) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (CT) del proyecto, dando la siguiente formula:

$$B/C = IT/CT$$

Si la relación B/C es mayor que la unidad, entonces el proyecto resulta rentable.

La inversión inicial máxima en materiales es de Q.750,00. Se estima una tasa de rentabilidad del 10 por ciento y una tasa de 20 por ciento (tomada como referencia de los bancos).

- La proyección anual se calcula en Q.750,00
- La relación B/C calculada por la fórmula siguiente:

$$B/C = IT / CT$$

da como resultado:

$$B/C = (843,15 / (1 + 0,10)^2) / (750 / (1 + 0,20)^2)$$

$$B/C = 696,82 / 520,83$$

$$B/C = 1,34$$

Como el período de evaluación es de 2 años, esto implica que para el segundo año el proyecto resulta rentable y más aún para los años subsiguientes dado que la inversión en materiales se hace una sola vez lo cual hace que el proyecto sea rentable.

4.8.1. Costo de producción

Es el valor monetario de los gastos incurridos y aplicados en la obtención de un bien. Incluye el costo de mano de obra, materiales y los gastos indirectos de fabricación cargados a los trabajos en su proceso.

Tabla VIII. **Proporción de costos para la implementación de un biodigestor**

Inversión	Costos Proporcionales en porcentajes
Desarrollo del proyecto	03 02 hasta 05
Infraestructura	05 02 hasta 08
Digestores	50 40 hasta 80
Conexión	05 00 hasta 05
Motor de gas	25 00 hasta 35
Medidas compensatorias	02 01 hasta 03
Ingeniería	10 08 hasta 15

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Sensibilidad económica de la implementación del biodigestor**

Sensibilidad Económica	Riesgo	Posibilidades de límites de riesgo
Precio de substratos	Alto	Contratos a largo plazo
Precio de energía	Bajo	Aumenta a largo plazo
Personal en sitio	Alto	Formación, selección
Utilización de residuos		Contratos a largo plazo

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Costos proporcionales de operación**

Rubro	Porcentaje
Suministro del sustrato (incluye transporte)	0 – 75
Almacenamiento del sustrato	1
Reparaciones y mantenimiento	10 – 15
Manejo	05 – 10
Seguros	1
Analítica	1
Aplicación del efluente	0 – 05
Consumo del proceso	7 – 10

Fuente: elaboración propia.

4.8.2. Beneficio del uso de metano

El uso de los biodigestores reduce los problemas de contaminación de las aguas residuales por excretas, mantiene el equilibrio ambiental y mejora la estructura del suelo. Además, se aumenta la fertilidad del suelo dado el efluente producido (abono orgánico o bio-abono), lo que permite aumentar la producción de las plantas cultivadas.

Como el uso de biodigestores permite la producción de gas metano, que puede aprovecharse para la calefacción o bien reduce el uso de energía eléctrica convencional, los beneficios económicos son notorios. Además, la energía producida por el biodigestor no es contaminante ni en el proceso de su producción ni en su combustión lo que sí sucede con los combustibles fósiles. Es decir, los beneficios sociales del uso de biodigestores benefician a la comunidad que hace uso del mismo.

Además de lo mencionado anteriormente, como subproductos de la producción del biogás se obtiene un fertilizante orgánico de alta calidad cuya disponibilidad es inmediata para los cultivos y que puede integrarse fácilmente al sistema de producción.

4.9. Manual de usuario

Es importante que el usuario de un biodigestor tome en cuenta los siguientes aspectos al momento de su utilización.

- Siempre debe revisarse el nivel de agua en la válvula de seguridad, el purgado de las conexiones, el estado de apertura de las válvulas así como el cambio del estropajo cada seis meses,
- Para evitar las inundaciones, si el digestor está localizado en una ladera, se construirán excavaciones paralelas a la zanja a fin de desviar el agua de la lluvia.
- Para impedir que pudiera introducirse agua por las tuberías de entrada y salida del digestor, cuando haya lluvias, deben taparse las mismas cuando no se haya empleado tanque de alimentación en la entrada.
- No se debe introducir estiércol seco o grandes cantidades de estiércol fresco sin diluir para evitar la acumulación de sedimentos en el fondo de la manga.
- Evitar que el agua de lavado de los establos contenga sustancias detergentes, porque pueden inhibir el proceso.
- Se sugiere el techado a la salida del digestor.

5. NORMAS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO

Para que quede garantizado el éxito en la implementación de un proyecto de biodigestión, debe tenerse cuidado en el manejo del mismo. Los sistemas de biodigestión son fáciles de operar cuando se tiene el conocimiento, interés y tiempo para tratarlos con cuidado. El soporte técnico también es un aspecto vital al momento de poner en marcha la planta. Es necesario contar con algo de tiempo y poner regular atención al funcionamiento y procesos que realiza el biodigestor.

El manejo adecuado requiere que exista soporte técnico, mantenimiento, así como que el propietario acepte el sistema como de su propiedad y que desee operarlo, y, también, el tiempo invertido en verificar y estar pendiente del sistema de biodigestión.

En cuanto al soporte técnico se refiere, es importante mencionar que hay que tener familiaridad con los componentes del sistema. Se asume que es la empresa fabricante o distribuidora quien debe orientar al propietario en cuanto a la operación y el mantenimiento del sistema de biodigestión en aspectos como ingeniería, conocimiento amplio de seguridad del equipo y personal. Pero esto no implica que los técnicos profesionales, o los mismos fabricantes, sean quienes puedan tratar situaciones difíciles de abordar o de solucionar.

En lo referente al mantenimiento se deben tomar en cuenta los aspectos como: la reparación, mantenimiento y revisión. También es importante la reparación y el control que se haga de diversos problemas o averías que pueden surgir con el paso del tiempo y durante la operación del biodigestor.

“El mantenimiento, también haría acepción al servicio y reparación de partes varias del biodigestor. Hay que tener en cuenta estos aspectos antes de poner en operación el sistema de generación de biogás”.⁴³

En cuanto al propietario del biodigestor, este debe comprender a cabalidad cómo funciona la tecnología ofrecida y tener compromiso con el éxito del sistema. Debe ser parte de la responsabilidad del propietario velar porque el manejo del sistema no se deje a intervalos de tiempo imprudenciales o a personas ajenas a este.

En lo referente al tiempo, hay que contar con el mismo para dedicarle cuando fuere necesario. Las eventualidades deben tomarse en cuenta, como es el caso de las reparaciones o mantenimiento, pero para que estos no sean frecuentes se recomienda el cuidado diario del sistema productivo de biogás,

5.1. Normas de seguridad

El biogás es un gas inflamable y tóxico, por tanto se recomienda observar las siguientes medidas o normas de seguridad para cuando el biodigestor está en operación.

- Verificar el cierre del quemador
- Cerrar bien el domo del gas
- Instalar el gasómetro en un lugar en donde haya flujo de aire
- Proveer un sistema de ventilación a la cocina
- Explicar a los niños y adultos los peligros de este gas

⁴³ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 38.

- Controlar las emisiones de ácido sulfhídrico

5.1.1. Normas para manejo de los gases

Los gases pueden ser inflamables, ya que pueden entrar en combustión si se les aplica una fuente de ignición. También pueden ser tóxicos, tal es el caso de los gases emanados de un biodigestor los cuales entran en descomposición y pueden causar daños a la salud si son inhalados. Además “los gases emanados del biodigestor pueden ser reactivos si entran en contacto con alguna otra sustancia química por lo que se recomienda tener mucho cuidado con ellos”.⁴⁴

- Por tratarse de gases en descomposición: es necesario evitar el consumo de tabaco en las inmediaciones del biodigestor.
- Tomar las precauciones para evitar incendios, pero al mismo tiempo se debe preparar para sofocarlos en caso que ocurran.
- La localización de las alarmas y el número de teléfono de los bomberos debe estar a la vista de la persona que entrará en contacto con el biodigestor y de quienes permanezcan en las inmediaciones del mismo.
- Es recomendable el uso de linternas y luces a prueba de explosión.
- Es importante el uso de extintores de polvo químico seco.

⁴⁴Almacenamiento y manejo de gases. Recuperado agosto de 2013 de http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1030475.

5.1.2. Normas de seguridad para manejo de los desechos

Para facilitar la reutilización y reciclaje de los residuos estos no deben mezclarse, además de evitar los problemas de salud. Separar los desechos siempre debe ser el primer paso para que su uso sea adecuado; sin embargo, no debe descartarse que después de su clasificación exista un mecanismo adecuado para su manejo.

Los desechos orgánicos o húmedos son descompuestos por la luz solar y el agua, o bien son consumidos por organismos vivos y convertidos en abono. La composición de los desechos provenientes de diversas fuentes permite convertir los desechos orgánicos en abono. Por ello “es recomendable que las personas encargadas de la clasificación de los materiales de desecho lo hagan de la mejor manera posible”.⁴⁵

5.1.3. Manejo seguro de los desechos con protección

El material que se utiliza para llenar el biodigestor puede ser estiércol de vaca, de cerdo y también se considera el de humano; estos productos son desechos nocivos para el humano y también para el ambiente, por ello se debe considerar el manejo de una manera segura.

La protección que el operario de un biodigestor debe observar es:

- No exponerse al contacto directo con los residuos de las excretas de los animales.

⁴⁵Guía comunitaria para la salud ambiental, Capítulo 18: Desechos sólidos: cómo convertir un riesgo para la salud en un recurso. Programa comunitario para el manejo de desechos sólidos.

- Utilizar guantes de hule, botas de hule, ropa impermeable.
- El estiércol se mezcla con una pala.
- En lo mínimo exponerse a inhalar los vapores de metano que genera la cámara.
- Utilizar una mascarilla que no permita el acceso de vapores.

5.1.4. Instrumentación para el control de gas

Los medidores de biogás se instalan entre el biodigestor y los sistemas de destrucción del gas. Se recomienda que estos medidores estén colocados después de los filtros de biogás, para que el medidor y el quemador no sufran daños por corrosión derivados del ácido sulfhídrico.

El equipo debe cuantificar el flujo de biogás hacia los sistemas de quema y/o aprovechamiento durante toda la operación del digestor. “El medidor se selecciona dependiendo de la cantidad de biogás producida en el biodigestor, su ubicación, corriente eléctrica disponible para energización y de la concentración de metano en el biogás”.⁴⁶

Es recomendable la instalación de medidores digitales que tengan dispositivos tecnológicos que permitan incorporar y transferir los datos a computadoras (sobre todo para casos de proyectos de comercialización de abonos de carbono).

⁴⁶ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción y biodigestores en México. p. 25.

- Filtro de retención de ácido sulfhídrico

En los sistemas para el aprovechamiento del biogás para generar energía eléctrica o térmica, se debe instalar un filtro para la retención del ácido sulfhídrico, porque este ácido es precursor de ácido sulfúrico, el cual corroe las partes metálicas y acorta el tiempo de vida útil de los equipos.

El tamaño del filtro y su capacidad está en función del volumen de biogás producido y de la concentración en partes por millón (ppm) del ácido sulfhídrico y se instala antes del medidor del flujo de biogás y la línea de alimentación en donde se ubique el equipo o estufa. “El filtro se debe reemplazar con cierta periodicidad, conforme a las indicaciones del fabricante para asegurar la retención y la concentración del biogás”.⁴⁷

5.1.5. Tipos de protección

- Protección cutánea

Antes de elegir el tipo de protección cutánea es necesario que la persona que va manipular el biodigestor; contacte a proveedores de materiales de laboratorio y seguridad industrial quienes le pueden dar mayor asesoramiento al respecto. Sin embargo, el usuario del biodigestor debe usar mascarilla, guantes, botas, ropa descartable y protección para el rostro en todo momento que entre en contacto directo con las excretas o con el biogás generado por el digestor.

⁴⁷ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción y biodigestores en México. p. 25.

“Es común utilizar guantes de nitrilo, en lugar de guantes de látex, porque provee mejor resistencia química, es más resistente al desgarre o ruptura y produce menos reacciones alérgicas”.⁴⁸

- Protección respiratoria

Es necesario el uso de máscaras faciales o semifaciales para filtrar el aire contaminado. También puede utilizarse máscaras contra partículas suspendidas o bien máscaras contra gases o vapores, aunque éstas tienen un valor económico más elevado.

Para proteger la respiración, los respiradores libres de mantenimiento son los más usados. Éstos son aparatos que filtran el aire y cubren la nariz, la boca y la barbilla atrapando partículas o gases y vapores, antes de ser inhalados. Sin embargo, “hay que evitar su uso excesivo puesto que pueden dañarse u obstruirse”.⁴⁹

5.2. Mantenimiento

Es una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos e instalaciones.

5.2.1. Plan básico de mantenimiento

Debe atenderse al mantenimiento en los puntos siguientes:

⁴⁸ Servicio integrado de prevención en riesgos laborales. (2012). La protección de la piel durante la manipulación de sustancias químicas.

⁴⁹ 3M. (2011). Guía de protección respiratoria. Chile. p. 9.

- Inspeccionar el digestor por la formación de espuma
- Retirar la espuma abriendo el digestor si es necesario
- Inspeccionar la impermeabilidad al agua y al gas de digestor
- Hacer un test de presión a las válvulas, acumuladores y tuberías de gas
- Revisar las posibles fisuras del acumulador de gas y repintarlo si es preciso

5.2.2. Control de corrosión del domo

Si el domo es construido de polietileno no lleva ningún tipo de tratamiento anticorrosivo; se debe implementar un control de corrosión cuando el material con el cual se ha construido sea metálico.

5.2.3. Cambio periódico de mangueras de conducción

El cambio de las mangueras depende de la recomendación del fabricante según la vida útil de las mismas, salvo casos específicos en los que se haya producido un accidente y se produzca una ruptura.

Cuando haya ruptura o daño de las mangueras de conducción se deberá realizar el cambio para poner en operación el biodigestor de nuevo.

5.2.4. Limpieza del residuo del proceso

Después de realizado el proceso de biodigestor o descomposición bacteriana y por ende haber obtenido una buena cantidad de biogás, es necesario realizar una limpieza ya que el residuo de la biomasa deja de producir metano y hay que remplazarla con otra carga de material que tenga la

capacidad de nueva producción. Para ello se realiza la apertura de la espita o drenaje de salida del residuo.

5.2.5. Reutilización del residuo como fertilizante

El residuo derivado del proceso de la biodigestión puede ser reutilizado aplicándolo como fertilizante en aplicaciones agronómicas y de cultivo. Es un buen abono orgánico ya que la descomposición anaeróbica mantiene los niveles de carbono; también dentro del biodigestor no existen pérdidas apreciables de fósforo, potasio y calcio.

El bio abono se puede utilizar como un fertilizante o abono que no daña los cultivos ya que se obtiene el proceso de la biodigestión anaeróbica y es de bajo costo.

5.3. Garantía de calidad

Es muy importante identificar el diseño del proyecto que cumpla con las necesidades del usuario del mismo. Para que este funcione bien debe contar con una garantía de calidad sobre la materia prima y sobre el rendimiento del sistema que debe provenir del fabricante o distribuidor e instalador. En el caso del presente proyecto la garantía que se obtiene al comprar los materiales en ferretería consiste en que estos son nuevos y no de segunda mano, como en el caso del reciclaje.

5.3.1. Garantía de la materia prima

Las personas que entren en contacto directo con la materia prima, proveniente del ganado y de la agricultura, deben conocer de antemano los

peligros asociados con el tratamiento de las mismas, como es el caso de las enfermedades producidas por residuos orgánicos, debido a ello requieren de entrenamiento especial, el cual puede ser brindado por la empresa encargada de la implementación de biodigestores para la producción de biogás. Así se evitan riesgos para la salud propia y de otras personas al ser portadores de enfermedades hacia otros lugares donde tengan contacto luego de la cercanía con la materia prima que requieren los proyectos de producción de biogás.

5.3.1.1. Patógenos

Las materias primas utilizadas en proyectos de biodigestión necesariamente contendrán agentes patógenos presentes en las plantas o animales (como salmonela) y parásitos (como *cryptosporidium*). La presencia de los mismos será en diferentes grados y en diferentes materiales mismos que son peligrosos para la salud tanto de las personas humanas como de los animales. Cuando los residuos provienen de diferentes sitios se necesita mayor cuidado y tomar las precauciones necesarias en cualquier caso de que se trate.

Para asegurar la eliminación completa de agentes patógenos se debe realizar el proceso conocido como pasteurización, el cual consiste en calentar los residuos a 70 centígrados por 30 minutos o bien durante más tiempo a una temperatura más baja. Sin embargo, la pasteurización afectará el balance de energía, puesto que a mayor calentamiento y velocidad el consumo de energía es mayor.

La precaución es muy necesaria debido a que el proceso de digestión anaerobia realizado en el biodigestor puede que no elimine del todo los agentes patógenos presentes en la materia prima.

Aunque en el proceso de biodigestión se reduce un poco, se considera que los niveles de patógenos presentes son bastante altos para causar enfermedades en las personas que entran en contacto con las materias primas antes, o bien después del tratamiento, o en las personas que tengan algún tipo de contacto con ellas por cualquier motivo.

Es importante dar a conocer a los empleados los riesgos que se asumen al entrar en contacto con las materias primas que se requieren para el proceso de biodigestión, “así como las medidas necesarias a adoptar para reducir el nivel de riesgo y de control de los mismos”.⁵⁰

Aunque aún se sigue investigando al respecto, se considera que existe una reducción de riesgos y peligros si se toman en cuenta las siguientes precauciones:

- Usar, siempre que se pueda, materias primas conocidas y fiables;
- Mantener un control de calidad estricto y un análisis constante de las materias primas;
- Monitorear y controlar las enfermedades que pueden padecer los animales, pues de ellos provienen algunas materias primas, y
- Mantener y cuidar la higiene personal.

5.3.1.2. Parásitos

Cuando la digestión anaerobia se hace a 35 grados celsius se reducirán las larvas y huevos de algunos gusanos parásitos hasta llegar a niveles que no

⁵⁰ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 39.

es posible detectar pasada una semana. Este proceso es conocido como digestión mesofílica y es usada por personas que trabajan con ganado. Con todo, existe poco control de *Ascaris*, *Tenias* y *Cryptosporidium*.

La digestión a 55 grados celsius reduce de manera notable la cantidad de los gusanos; sin embargo, muchos permanecen, aun luego del proceso digestivo por largos periodos de tiempo. El oocysts es capaz de infectar cualquier animal que lo ingiera y permanece después de 50 días a 35 grados celsius.

“Es importante saber que la digestión mesofílica no reduce de manera significativa el potencial de infección de residuos que han sido contaminados por parásitos”.⁵¹

5.3.1.3. Bacterias patógenas

Luego de setenta días, persisten bajos niveles de la bacteria *Salmonella*, presente en el estiércol; aunque una digestión mesofílica se estima que es capaz de destruir hasta cerca del noventa por ciento de las bacterias presentes en el mismo. Las bacterias pueden sobrevivir en la superficie cuando la mezcla en el biodigestor es pobre.

Pero, también, si el proceso de digestión anaerobio se trata con cuidado y se maneja de manera apropiada, se estima que se reducirá el nivel de bacterias a niveles mayores; mientras que “si la mezcla se realiza de manera deficiente, entonces pueden persistir niveles bajos de bacterias”.⁵²

⁵¹ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 39

⁵² *Ibíd.* p. 40

Aunque la digestión anaerobia sea realizada con sumo cuidado y se tomen todas las precauciones necesarias, las bacterias presentes en la misma no se eliminarán al cien por ciento, por tratarse de materias provenientes de desechos animales y de cultivos que poseen contaminantes dada su naturaleza, por lo cual se deben tomar todas las precauciones necesarias para cuidar de las personas que entren en contacto con el biodigestor.

5.3.1.4. Virus

Por medio del proceso digestivo anaeróbico de tipo mesofílico se estima que se puede reducir la presencia de virus en el proceso de tratamiento de los mismos dentro del biodigestor.

Sin embargo, tal como en el caso de las bacterias, se puede seguir encontrando virus presentes en las materias primas, así como en la composta y en la mezcla que se realiza dentro del biodigestor luego de períodos largos de tiempo en el mismo. Por ello, “también se recomienda su cuidado en el tratamiento y acercamiento a las materias primas y a las provenientes del biodigestor, ya que pueden ser altamente peligrosas para la salud de quienes tienen contacto con estos”.⁵³

5.3.1.5. Prácticas que reducen el contenido de sólidos en el biodigestor

El conocimiento que se tenga del grado de dilución de los sólidos al entrar en contacto con el agua es importante al momento de tomar la decisión de cuál tipo de digestor conviene utilizar.

⁵³ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 40.

Al respecto cabe mencionar que la adición de agua a los residuos puede ser de manera deliberada, cuando interviene la obra humana adicionando cantidades de agua a la mezcla de sólidos; o bien, puede ser incidental, tal como sucede cuando estos entran en contacto con el agua proveniente de la lluvia.

Es decir que, el contenido de sólidos se puede ver afectado ante la presencia de agua, especialmente cuando existe un exceso de agua, dando como resultado la limitación en la capacidad de manejo de los residuos así como del proyecto en si mismo. Es de vital importancia que se tenga un control exacto del agua que entra en contacto con los sólidos, es decir, que se debe estimar la cantidad total de agua requerida y se debe tener un control de la misma a fin de saber la cantidad exacta que se requiere y la que se está utilizando para evitar afectar a los sólidos y su manejo dentro del proyecto de biodigestión de que se trate.

5.3.1.5.1. El proceso de adición de agua fresca

Cuando se trata de ganado, es útil realizar un procesamiento del agua proveniente del lugar de ordeño, con el fin de darle tratamiento adecuado a los residuos. Es decir que, cuando los animales se abreven y cuando se realiza la limpieza del sitio donde se encuentran hacinados, agua que puede ser reutilizada en el proceso del tratamiento de sólidos, o bien del biodigestor en sí mismo.

5.3.1.5.2. Recolección con agua

Cada vez que se realiza la limpieza del lugar donde se hacinan los animales se utiliza agua, la cual queda sobre el nivel del suelo, cuando esta no sea absorbida por el terreno donde éstos se ubiquen. Es así que, el estiércol entra en contacto con el agua, favoreciendo su compostaje, el cual puede ser aprovechado una vez que ha entrado en contacto con el agua.

La recolección diluirá los residuos frescos, lo cual permite la obtención de sólidos volátiles frescos que pueden bien ser utilizados por el biodigestor y ser de beneficio para el proceso de digestión dentro del mismo, mayormente cuando esta recolección se realiza a diario dentro de las instalaciones donde se ubique el biodigestor.

5.3.1.5.3. Dilución por lluvia

Como la lluvia puede diluir demasiado los sólidos que entren en contacto con ella, se debe tener especial cuidado en el almacenaje de los mismos dentro de las instalaciones adecuadas para dicho efecto. Siempre debe existir un cuidado de la cantidad de agua que puede ser adicionada por la lluvia hacia los sólidos que se utilizarán en el proceso de digestión.

5.3.1.6. Prácticas que permiten el aumento de la concentración de sólidos

Es posible agregar material seco a la materia prima con que se cuenta para el trabajo con el biodigestor. Es decir, puede agregarse paja, arena o aserrín. Es común que los materiales utilizados para cultivo se sequen y se usen para absorber residuos líquidos.

“Es posible, también, utilizar trituradoras de residuos a fin de que estas materias primas estén dispuestas de mejor manera para entrar en contacto con el biodigestor y que se evite la formación de residuos flotantes en la superficie o en el contenido diluido que estará presente en el mismo”.⁵⁴

5.3.2. Recomendaciones para el sistema de biodigestión

Es necesario garantizar un buen rendimiento del digestor en las instalaciones donde éste se ubique para que cumpla con el propósito para el cual fue diseñado. Por lo cual se deben tomar en cuenta las recomendaciones que se mencionan en esta sección:

- Para que se garantice un correcto funcionamiento del digestor, los niveles de amoníaco dentro del mismo se han de mantener debajo de 2,000 miligramos/litro.
- También hay que llevar un cuidadoso registro del pH (medida de acidez o alcalinidad) dentro del biodigestor, condición que debe evaluarse cada cierto tiempo, para garantizar que las operaciones del digestor sean realizadas con éxito; se asume que el pH debería ser revisado a diario.
- Respecto del pH de la mezcla y del proceso, se dirá que la carga de la fermentación no debe ser ni alcalina ni ácida. Cuando la carga del digestor sea muy alta, el valor del pH disminuye. No está de más agregar correctores del pH a la carga del digestor; bien cuando se necesita incrementarlo se puede agregar cal, bien cuando se desea disminuirlo se agrega ácido.

⁵⁴ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 41

- Si por alguna razón se requiere cambiar el tipo de materia prima que se usará en la carga, entonces deben realizarse las modificaciones necesarias al biodigestor que se requieran para su correcto funcionamiento, con la finalidad de que siga entregando productos útiles según fue ideado e instalado.
- Por ninguna razón se debe realizar la introducción de fertilizantes fosfatados dentro del proceso de digestión de que se trate. Esto se debe a que la ausencia de aire puede producir compuestos de fósforo que resultan altamente tóxicos para las personas que entren en contacto con este y pueden causar serios daños a la salud de los mismos.

Dado que la generación de biogás puede ser inflamable, se considera de vital importancia que se evite el contacto con cualquier tipo de elementos que causen ignición, o llama, en los sitios cercanos a la ubicación del biodigestor; excepto, claro está, aquellos que generarán energía calórica por medio del proceso de digestión anaerobia y que son los utilizados dentro del proyecto.

Luego de retirar el efluente del tanque de almacenamiento no puede usarse el gas de manera inmediata. Descargando este se produce un efecto de presión negativa lo cual puede generar diversos resultados, entre los cuales existe la devolución de la llama al digestor, lo cual puede producir una explosión, también es posible que, con la introducción de aire al digestor, se dañe seriamente el proceso de biodigestión.

En este punto, la compensación del sistema es recomendable, alimentando una cantidad equivalente al volumen de efluente retirado del tanque. Y, con el fin de que se restablezca la presión positiva previo al uso de gas, se debe dejar pasar un tiempo prudencial, no más de media hora.

También se recomienda tener en cuenta qué se hará al momento de que biodigestor llegue al final de su ciclo de vida útil; es decir, cuándo se repondrá el mismo, cómo se dispondrá del obsoleto y qué se hará para conseguir uno nuevo, si es el caso de que se siga con este proceso de la misma manera o si tiene cambios en su dimensionamiento, ubicación o cualquier otra condición que modifique el proceso actual.

Para ubicar el biodigestor resulta útil tomar en cuenta que:

- No debe ubicarse cerca de colindancias con corrientes o nacimientos de agua por los efectos nocivos que éste puede tener sobre ellos;
- Se debe ubicar en zonas donde el tráfico de personas o animales no sea continuo; c) se prefiere la ubicación del biodigestor en lugares donde se use el efluente de manera directa;
- Se estima que la distancia prudencial mínima de ubicación del biodigestor hacia lugares demasiado calientes o donde haya llama directa debe ser de unos treinta metros; y
- Tener en cuenta que el biodigestor estará diseñado para funcionar como parte de las operaciones de la instalación donde se ubique; es decir, debe ofrecer funcionalidad al área de trabajo, de paso de personas, de uso en la comunidad o localidad donde se ubique y no crear condiciones desfavorables o desventajosas para ésta.

5.3.2.1. Limpieza

Con el fin de garantizar la entereza y pureza en el proceso de biodigestión, se debe realizar una limpieza del mismo de manera adecuada, utilizando guantes y botas de caucho que sean, de preferencia, descartables y se debe seguir los siguientes lineamientos:

La carga diaria del proceso debe ser suspendida, por razones obvias de salubridad y de protección al personal que entrará en contacto con el mismo. Se debe también cerrar la válvula de gas y desconectar la línea de conducción. También se debe permitir el escape del gas por medio de la apertura de la válvula utilizada para dicho efecto.

Llegado el momento de hacer la limpieza, se recomienda el uso de un balde plástico o una bomba para vaciar el contenido del digestor. Este contenido del balde o bomba, bien puede ser utilizado como abono para los suelos cercanos al lugar de trabajo del biodigestor.

Las aguas de lavado deben ser retiradas por medio del uso del balde. Se lavan todas las partes del tanque o tambo que entraron en contacto con la materia prima con un cepillo de cerdas duras que no sea metálico para evitar dañar el tambo; para ello debe usarse agua abundante.

Siempre resulta útil revisar que no existen fugas en el biodigestor; y si las hubiera, se debe evaluar si es más recomendable repararlo o reemplazarlo.

5.3.2.2. Líneas de conducción

Para la adecuada limpieza de las líneas de conducción hay que tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Inspección periódica de las líneas de conducción, y cuando fuere posible ésta debe realizarse todos los días al momento de efectuar la carga. Las partes que se recomienda inspeccionar y limpiar son; la línea de gas en las uniones, válvulas, acoples y demás accesorios con el propósito de lograr la detección de fugas.

Si existen fugas se debe proceder a su reparación inmediata por medio del reemplazo de las partes que tengan defectos o por medio de sellamiento de las partes que permitan el escape con pegamento especial para dicho efecto.

“Se debe también, realizar un purgamiento periódico de las trampas de agua y de ácido sulfhídrico”.⁵⁵

Es necesario realizar una inspección semanal del relleno de trampa de ácido sulfhídrico. Si el relleno resulta estar gastado, se debe reemplazar por uno nuevo para que la trampa funcione correctamente.

5.3.2.3. Limpieza del gas

Existen dos razones por las cuales el biogás producido necesita limpiarse a diferentes grados, luego de su generación. Estas son:

⁵⁵ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 43.

- En virtud de que el gas es corrosivo puede causar daños en los motores
- Por razones obvias de seguridad e higiene; esto es, se requiere hacer una evaluación de riesgo.

Es necesario tomar en cuenta que deben existir áreas donde sea posible la exclusión de personal por razones de riesgo para ellos. No se aconseja la quema de gas producido por el biodigestor en un lugar distinto de un motor para la producción de electricidad o bien en un quemador para producir calor. Es decir, el gas producto del proceso de biodigestión tiene un uso limitado y no debe utilizarse para usos generales, como pudiera parecer posible.

Para la limpieza del gas existen diversos métodos y tecnologías, pero se aconseja que sea un experto, o una persona conocedora de esta temática, quien lo haga o supervise, por razones de seguridad, protección e higiene y salud.

5.4. Riesgos en la operación

Para que la implementación de un proyecto de generación de biogás pueda ser beneficiosa a la comunidad en donde se establezca, es necesario que la planeación sea cuidadosa asegurando así todo el proceso, desde su ideación e instalación hasta su operación, principalmente. Sin embargo, siempre existe el riesgo de tener un impacto negativo en el ambiente donde se desarrolle y es de estos detalles que debe cuidarse para que la operación del proyecto ofrezca los mayores beneficios en todos los sentidos.

Con el fin de contar con el permiso necesario para la implementación y la operación del proyecto de generación de biogás es necesario hacer del conocimiento de los pobladores y de las autoridades, cuando este fuera el caso,

de todo lo que implica el proceso operativo del mismo, como se ha venido describiendo con anterioridad. Sin embargo, en proyectos pequeños, los impactos sobre el ambiente y civilización pueden ser pocos.

Cuando los impactos sean producidos por empresas a mayor escala, se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

5.4.1. Emisiones al aire

Entre los inconvenientes de la producción de un biodigestor, existe la posibilidad de gases que causen efecto invernadero, más específicamente el gas metano cuando existan fugas no detectadas en el mismo.

También es importante cuidar de la quema total del biogás debido a que pueden liberarse o producirse:

- Monóxido de carbono, que es nocivo para la salud de quienes entren en contacto con el biodigestor;
- Óxido de nitrógeno, que es precursor de la lluvia ácida;
- Componentes orgánicos volátiles, que contaminan e intoxican el aire.

5.4.2. Emisiones al suelo y cursos de agua

Es posible que ocurra, o se provoquen daños a los cursos de agua debido a las descargas cuando el almacenamiento es deficiente en cuanto a materia prima se refiere. También puede darse esta condición cuando haya almacenamiento del efluente de manera inadecuada o cuando haya derrames del efluente.

Para evitar esta condición es mejor contar con contenedores útiles para descargar el derrame accidental o cuando haya escapes de los cuerpos de agua. Si este fuera el caso, debe notificarse de inmediato a las personas de la comunidad involucradas y a las autoridades competentes.

5.4.3. Trazas de amoníaco y de ácido sulfhídrico

Durante la producción del biogás se puede generar trazas de amoníaco y de ácido sulfhídrico. Estos también pueden ser generados por las condiciones de almacenamiento de la materia prima o bien en los recipientes donde se realiza la mezcla o también en tanques transportadores.

Que una persona tenga una exposición con este tipo de gases puede producirle enfermedad o la muerte; además de esto, “los niveles de presencia en el biogás de este tipo de gases pueden variar con el paso del tiempo o con producción del mismo digestor. Estos tipos de gases son tóxicos y deben tratarse con sumo cuidado”.⁵⁶

5.4.4. Riesgo de exposición

Es necesario que las personas que entran en contacto con el biodigestor sepan del riesgo de exposición que tienen a estos gases y que se les oriente acerca de las medidas de seguridad y control de riesgos que deben tomar en caso de entrar en contacto directo o quedar expuestas a estas sustancias.

⁵⁶ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 45.

5.4.5. Riesgos del sistema

Es necesario identificar los riesgos a que queda sujeto el sistema de producción que implica un biodigestor desde la etapa inicial del proyecto que se presenten en la etapa de operación, mantenimiento y reparación con la finalidad de que las operaciones se realicen con éxito facilitando la operación siguiente del proyecto.

Entre las actividades que son necesarias para evitar riesgos en la operación debe tomarse en cuenta la remoción de elementos tóxicos del biogás generado, así como se debe estabilizar de manera completa los sistemas cerrados.

Los sistemas en que funcione el biodigestor deben minimizar o favorecer la concentración de las sustancias peligrosas; deben también ofrecer el beneficio de mantener aireamiento en el lugar donde se desarrollen las actividades del biodigestor, ofreciendo al mismo tiempo equipos que ofrezcan seguridad personal a las personas que entren en contacto con el mismo.

5.5. Condiciones especiales a tener en cuenta

Para favorecer la recuperación de gas, se deben tomar los siguientes tipos de condiciones especiales:

- Problemas severos de olores: en algunas fincas, los olores asociados con residuos orgánicos atentan contra la calidad del aire, son un daño para los vecinos. En áreas donde estos problemas son significativos, la instalación de un sistema de producción de biogás será favorable, ya que este

remueve los olores. Utilizar digestores con el fin principal de control de olores, es un beneficio si los costos de no controlar son substanciales.

- Problemas ambientales: los residuos orgánicos son una fuente de contaminación agrícola la cual afecta canales, suelos y aguas subterráneas. Los sistemas de biogás ayudan a reducir esta contaminación dando al propietario un punto de control y ganancia del manejo de residuos.
- Alto costo de la energía: los altos costos de la energía favorecen este tipo de proyectos. Los sitios pequeños podrían mantener potencialmente proyectos de recuperación de gas rentables.
- “Alto costo de fertilizantes comerciales”.⁵⁷

⁵⁷ Unidad de Planeación Minero Energética. Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. p. 45.

CONCLUSIONES

1. Entre los biodigestores más conocidos se encuentran: tipo hindú, tipo chino y los de carga intermitente. Además, se utilizan los semicontinuos, los continuos, los cilíndricos y los no cilíndricos. Finalmente los biodigestores domésticos elaborados con materiales mínimos y utilizados para demandas energéticas familiares por su ahorro económico y porque los residuos orgánicos se pueden aprovechar para el abono de suelos. Por su bajo costo, rendimiento energético y reutilización de los residuos orgánicos, el biodigestor utilizado para este proyecto de investigación es el doméstico.
2. El biodigestor propuesto para este proyecto es uno doméstico diseñado con un tanque de polietileno con capacidad entre 120 y 220 litros. La base para el biodigestor es de concreto, de 1 metro por 1 metro (1 metro cuadrado) de área a fin de darle estabilidad al biodigestor.
3. Las tuberías y conexiones que entran y salen del tanque son de PVC lo cual garantiza durabilidad y trato adecuado de los efluentes del mismo. También se facilita el cambio o modificación de los mismos toda vez que estos hayan sufrido algún desgaste considerable o que se implique el daño de estos.
4. Los beneficios anuales directos por el uso del biogás se estiman en Q.843,15 (utilizando el biodigestor durante todo el año). El costo del gas de una familia promedio es de Q.168,00 por un cilindro de 35 libras el cual se consume en, aproximadamente, un mes y medio, lo que equivale

a 8 cilindros de gas anuales (12 meses por año / 1,5 meses de duración de un cilindro de gas). Entonces, el costo anual de 8 cilindros de gas en una familia promedio es de Q.1344,00. La generación de biogás equivale al 62.73 por ciento del gasto anual en quetzales ($Q.843,15/Q.1344,00$), quedándoles por desembolsar un equivalente a Q.500,85 anuales por concepto de gas para cocinar. Los costos de instalación y manejo llegan a Q.750,00, únicamente durante el primer año. Este valor se elimina del segundo hasta el noveno año porque ya no es necesario este desembolso sino hasta el décimo año cuando se aconseja que el sistema debe ser reemplazado. La relación beneficio costo es de 1,34, lo cual hace el proyecto atractivo para la inversión en él.

5. Para el trato directo con el biodigestor se debe utilizar mascarilla, guantes, botas, ropa descartable y protección para el rostro en todo momento. También se debe utilizar máscaras faciales para el trato con los desechos generados del biodigestor. Debe evitarse el contacto directo con las excretas y los desechos generados por el biodigestor. Se aconseja el uso de ropa descartable, cuando sea posible; así como el uso de palas para el manejo de las excretas.
6. Se estima que el rendimiento del biodigestor propuesto es de 150 litros de biogás que equivalen a 75 gramos de gas envasado; el gasto mensual de gas envasado en una familia rural promedio es de 15 kilogramos, o bien 200 gramos por día. El uso del biodigestor representa un ahorro para las familias que lo utilicen y un beneficio extra para el ambiente, además los desechos del mismo pueden ser utilizados para el abono de suelos.

7. La implementación de un biodigestor doméstico implica la reducción en el consumo de leña, o gas, por las familias que utilicen este dispositivo para la generación de energía calórica en sus hogares, puesto que con el uso del biodigestor se genera más de un cuarto del requerimiento de gas mensual, además del ahorro en abonos para suelos, pues ellos derivan de los desechos del biodigestor, lo cual es otro beneficio para las familias que hagan uso de él.

RECOMENDACIONES

1. Los beneficios económicos totales que incluyen la suma de beneficios directos y valores funcionales, demuestran los beneficios de esta tecnología de producción de biogás a bajo costo. Sin embargo, si se planea la extensión de un programa para diseminar el uso de biodigestores, se le recomienda a la Gerencia General realizarse, también un estudio sociocultural antes de iniciar cualquier programa.
2. La Gerencia General debe tomar en cuenta que la inversión en un proyecto de biogás se recupera rápidamente y permite costos de producción menores, a la vez que se crean fuentes adicionales de energía casera; está demostrado que en Guatemala se puede implementar este tipo de proyectos, en parte gracias a los incentivos que proporciona el Ministerio de Energía y Minas, clasificándolos como proyectos de energía renovable, lo que exonera de impuestos a todo el equipo que se necesite importar para los mismos.
3. Para lograr un adecuado diseño se podría obtener créditos, en caso fuera necesario la obtención de los mismos, por la reducción de emisión de gases tipo invernadero, lo que obviamente hace de ellos una inversión mucho más atractiva por su alta rentabilidad.

4. Es importante la implementación de este tipo de producción de energía para las comunidades que cuenten con escasos ingresos económicos y que requieran la utilización de energía proveniente de fuentes orgánicas y recordar siempre que los desechos de la misma pueden contribuir al abono de los suelos donde estos se implanten.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Andaluza de la Energía. *Estudio básico del biogás*. España: 2011. 166 p.
2. AGUILAR, Francisco; BOTERO, Raúl. *Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo*. Ecuador: 2006. 25 p.
3. ALKALAY, Daniel. *Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la producción de energía. Reunión regional sobre biomasa para la producción de energía y alimentos*. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile: 1997. 58 p.
4. CHIAVENATO, Idalberto. *Gestión del talento humano*. McGraw-Hill. México: 2009. 586 p.
5. *Desechos sólidos: cómo convertir un riesgo para la salud en un recurso. Programa comunitario para el manejo de desechos sólidos*. En guía comunitaria para la salud ambiental. 2011. 417 p.
6. DIAS, Emerson; KRELING, Julio. *Evaluación de la productividad y del efluente de biodigestores suplementados con grasas residuales*. Costa Rica: 2006. 73 p.

7. E-G INGENIERÍA. *Biodigestor prefabricado para tratamiento de residuos sólidos orgánicos*. <<http://www.eg-ingenieria.com.ar/catalogos/eg-ingenieria-biodigestor-prefabricado-para-residuos-organicos.pdf>. p. 3> [Consulta: agosto de 2013].
8. GEO MEMBRANAS. *Biodigestor*. <<http://geomembranas.com.co/wp-content/uploads/2011/12/Biodigestor.pdf> p.5> [Consulta: agosto de 2013].
9. GUEVARA, Antonio. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. Perú: 1996. 77 p.
10. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. *Biodigestores. Cartilla teórico-práctica en educación ambiental*. Subsecretaría de Ecología. México: 1989. 19 p.
11. LÓPEZ, Claudia; LÓPEZ, Omar. *Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de ingeniería química Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana*. Universidad Veracruzana. México: 2009. 60 p.
12. MAPFRE TECH, S.A. *Almacenamiento y manejo de gases*. <http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1030475. p 5> [Consulta: agosto de 2013].

13. MARTI, Jaime. *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares. Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano*. Bolivia: cooperación técnica alemana, 2008. 81 p.
14. *Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino*. Ciencias Técnicas Agropecuarias. Cuba: 2011. 12 p.
15. NÚÑEZ, Orlando. VILLANUEVA, Rider. y ORTEGA, Irma. *Biodigestor*. <<http://www.funica.org.ni/docs/recycle.pdf>. p. 1> [Consulta: agosto de 2013].
16. OLAYA, Yeison; GONZÁLEZ, Luis. *Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de construcciones agrícolas*. Universidad Nacional de Colombia: 2009. 31 p.
17. PÁGINAS AMARILLAS CANTV. *¿Qué es un organigrama y sus tipos?*. <http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=5661:que-es-un-organigrama-y-sus-tipos&catid=65:oficina-y-comercio&Itemid=88. p.3> [Consulta: agosto de 2013].
18. PAREDES, Alfredo. Mecanotecnia. *Diseño de plantas de biogás dimensionado de un biodigestor básico*. 2010. 17 p.
19. Premio Odebrecht para el desarrollo sostenible. *Compilación de los mejores proyectos. Implementación de biodigestores para el desarrollo sostenible de las comunidades campesinas del distrito de Reque*. Perú: odebrecht, 2012. 136 p.

20. SEBASTIEN, Matton. (2013). *Biodigestores*. Biodigestores, una alternativa tecnológica para el futuro. <<http://biodigestores.blogspot.com/2012/06/tipos-de-biodigestores.html>. p 4> [Consulta agosto de 2013].
21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de biodigestores en México*. México. 2010. 52 p.
22. Servicio integrado de prevención en riesgos laborales. *La protección de la piel durante la manipulación de sustancias químicas*. Universidad Politécnica de Valencia. España: 2012. 27 p.
23. SNV. Guía: *Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*. Honduras: Premaca, 2012. 68 p.
24. Taller: *Biogás*. Universidad de Concepción. Chile: 2012. 30 p.
25. TEXTOS CIENTÍFICOS. *Factores que afectan la producción de gas*. <<http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>. p 3> [Consulta: agosto de 2013].
26. THOMPSON, Iván. *Tipos de Empresa*. <<http://www.promonegocios.net/empresa/tipos-organizaciones.htm>. p. 1> [Consulta: agosto de 2013].

27. Unidad de Planeación Minero Energética. *Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas de difusión. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás*. Colombia: 2003. 46 p.
28. YEPES, Yair. *Energía casera. Biodigestor de bidón: Pautas de uso*. Kentucky: 2010. 156 p.
29. 3M. *Guía de protección respiratoria*. Chile: 2011. 16 p.