

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA UNA GRANJA AUTOSUSTENTABLE

TUTORES ACADÉMICOS: Prof. Maria E. Gudiel.
Prof. Manuel Martinez.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela
Por los bachilleres
Perez Briceño José Angel
Tinedo Gudiño Miguel Eduardo
Para optar al Título
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA UNA GRANJA
AUTOSUSTENTABLE**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela
Por los bachilleres
Pérez Briceño José Angel
Tinedo Gudiño Miguel Eduardo
Para optar al Título
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2005

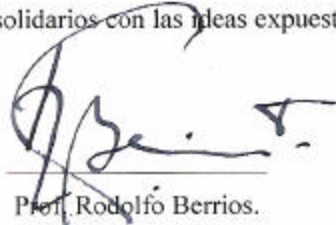
Caracas, 13 de junio de 2.005

ACTA

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Pérez, José y Tinedo, Miguel titulado:

“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA UNA GRANJA AUTOSUSTENTABLE.”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ella signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



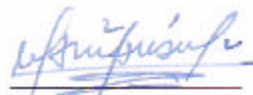
Prof. Rodolfo Berrios.

Jurado.



Prof. Fausto Carpentiero

Jurado.



Prof. Manuel Martínez

Tutor Académico.



DEDICATORIA

A mi Papá, a mi Mamá, al Negro

A toda mi familia

A mis panitas de la universidad

A mis hermanos

A mis hermanitas

Rec.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y motivación en la oscuridad y claridad.

A mis padres por su incondicional apoyo y su fe, gracias por estar siempre allí y no abandonarme.

A mis tíos Argelia y Cesar me enseñaron como un hijo y los quiero como mis padres

A mis tíos Lorena y William su confianza fue de gran inspiración, motivos suficientes para seguir adelante.

A Alexander Gudiño Tus consejos y ejemplos son lo mas grande, gracias por estar siempre a mi lado.

A mi hermano Rodrigo, un gran ejemplo de motivación y dedicación.

A la familia Mastrolonardo por abrirme los brazos y aceptarme en su hogar, Gracias Tocayo.

A mis grandes amigos que como familia vivimos dichas y desencantos más que nadie Uds. saben lo que vale esto.... Fanelli, Fabián, Giuseppe, Cristian, Bernardo, Atias, Frodo, Amaury y a todos los de la escuela de mecánica.

A mi compañero José Ángel, Por confiar en mi, y compartir esta idea que juntos decidimos llevar a cabo.

A Carolina Torres. Muchas gracias por ser quien eres , confiarme en mi y estar a mi lado en esta lucha, eres mi inspiración Te Quiero Mucho gordita.

Miguel E TIENDO G

AGRADECIMIENTOS

A La gente de FUDECI por darnos el apoyo que necesitábamos

Al MSDS por creer en nuestra idea y darnos la oportunidad.

Al Prof. Leonardo Taylhardat por su ayuda incondicional y apoyo

Al Prof. Fabián Flores por toda su colaboración.

A la gente del CISPI por su valiosa colaboración.

A nuestros amigos y familiares, por darnos fuerzas y confianza en el transcurso de la carrera.

La ayuda de todos fue imprescindible.

José A. Pérez B.
Miguel E. Tiendo G.

Pérez B., José A., Tinedo G., Miguel E.

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA UNA GRANJA
AUTOSUSTENTABLE**

**Tutor Académico: Profesora María E. Gudiel. Co-tutor: Profesor.
Manuel Martínez Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de
Ingeniería Mecánica. 2005. 95 pág.**

Palabras clave: Diseño, Biodigestor, Biomasa, Biogás, Bioabono, Autosustentable

En el presente trabajo se diseñó un sistema de biodigestión anaeróbica como solución para el saneamiento ambiental en una granja autosustentable con aprovechamiento energético de los productos del tratamiento. Dicha granja estará Ubicada en Santa Fe de Cinaruco en el Estado Apure

Mediante la aplicación de una metodología de diseño conformada por investigaciones bibliográficas, de usuarios, ergonómicas, uso de técnicas creativas y matrices de evaluación se determinó la solución más favorable al problema planteado.

Los factores condicionantes del diseño fueron: garantizar el tratamiento de la mayor cantidad de desperdicios, la utilización de materiales de la zona, la resistencia y durabilidad de los mismos, así como su costo y facilidad de manipulación.

La solución planteada es la instalación de un sistema conformado por tres biodigestores. Dos discontinuos “Modelo Batch” y uno continuo “Modelo Chino” y un depósito de biogás o “gasómetro” propuesto para ser construido con los mismos materiales de los biodigestores.

Una vez determinada la solución, se realizan los cálculos de las dimensiones y capacidades operativas y se realizaron los manuales de instalación, operación y mantenimiento de los componentes del sistema.

El sistema de biodigestores y almacenador de gas cumple con los objetivos propuestos y con necesidades planteadas por el proyecto de la granja autosustentable para eliminar los desechos y focos de contaminación y enfermedades, trayendo además subproductos como son el biogás y el bioabono capaces de satisfacer necesidades de la misma granja.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	
Introducción y alcances	1
1.1.- Introducción	1
1.2.- Antecedentes	2
1.3.- Planteamiento del problema	4
1.4.- Objetivos	5
1.4.1.- Objetivo general	5
1.4.2.- Objetivos específicos	5
1.5.- Alcances	6
CAPÍTULO 2	
Tratamiento de los desechos de la granja	8
2.1.- Introducción	8
2.2.- Composición de los desechos generados por la granja	9
2.3.- Disposición de las fuentes de desechos	9
2.4.- Aspectos ecológicos	10
2.5.- Ubicación del biodigestor	11
CAPÍTULO 3	
Tecnología del proceso anaeróbico	12
3.1.- Introducción	12
3.2.- Proceso de la fermentación anaerobia	13
3.3.- Etapas del proceso de la fermentación anaerobia	13
3.4.- Factores que afectan el desenvolvimiento del proceso anaerobio	15
3.4.1 – Clase de sustrato	15
3.4.2.- La temperatura	16
3.4.4.- Relación Carbono – Nitrógeno	18
3.4.5.- Porcentaje de sólidos	18
3.4.6.- Tiempo de residencia	19
3.5.- Materia prima para la producción del biogás	19
3.6.- Propiedades de la materia prima	20
3.7.- Formas de operación en los digestores rurales	21
3.8.- Modelos de digestores popularizados en el medio rural	24
3.9.- Composición del biogás y del bioabono	32
3.10.-Aprovechamiento energético	33
CAPITULO 4	
Estudio de usuarios e investigación ergonómica	35
4.1.- Introducción	35
4.2.- Estudio de usuarios	36
4.2.1.- Identificación De Usuarios	36
4.2.2.- Viajes de usuarios	36

4.2.3.- Estudio de conductas de usuarios.....	38
4.2.4.- requisitos de los usuarios	40
4.3.- Investigación ergonómica	40
4.3.1.- Levantamiento y transporte de carga	41
4.3.2.- Inspección visual.....	46
4.4.- Desarrollo de especificaciones.....	46
CAPITULO 5	
Generación y selección de conceptos solución	48
5.1.- Introducción	48
5.2.- Desarrollo de conceptos solución.....	49
5.3.-Descomposición funcional.....	49
5.4.- Criterios para la selección.....	52
5.5.- Escala de evaluación.....	52
5.6.- Matriz de selección	53
5.7.- Transporte de los desechos	54
CAPITULO 6	
Desarrollo de la solución.....	55
6.1.- Introducción.....	55
6.2.-Selección de materiales para el biodigestor	
“Modelo Chino”	55
6.2.1.- Cámara de fermentación	57
6.2.2.- Cámaras de carga y descarga	60
6.2.3.- Tuberías de carga y descarga	61
6.3.- Selección de materiales para el biodigestor	
“Modelo batch”	63
6.3.1.- Cámara de fermentación	64
6.3.2.- Cúpula o tapa	64
6.4.- Almacenamiento de biogás	66
6.5.- Conducción de gas	68
6.6.- Instrumentación y equipos	68
CAPITULO 7	
Cálculos y manuales	70
7.1.- Introducción	70
7.2.- Biodigestor tipo chino	70
7.3.- Biodigestor Batch	78
7.4.- Cálculos del gasómetro.....	83
7.5.- Conducción del gas	86
7.6.- Manuales para el biodigestor chino	87
7.6.1.- Cámaras de carga y descarga	87
7.6.2.- Descarga del biodigestor	88
7.6.3.- Manual de instalación	89
7.6.4.- Manual de mantenimiento	90
7.7.- Manuales para el biodigestor modelo batch.....	91

7.7.1.- Carga del biodigestor	91
7.7.2.- Descarga del biodigestor	91
7.7.3.- Manual de instalación	93
7.7.4.- Manual de mantenimiento	94
7.8.- Manuales para el gasómetro:	95
7.8.1.- Carga de biogás:	95
7.8.2.- Descarga de biogás:	95
7.8.3.- Manual de instalación:	95
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFIA	101
PLANOS	104
ANEXOS	108

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Rendimiento teórico de gas en función a la materia orgánica degradada	15
Tabla 3.2 Valores de la relación C / N para diversas materias primas	16
Tabla 3.3 Rendimientos en biogás para diversas materias primas	20
Tabla 3.4 Composición del biogás	33
Tabla 3.5 Poder calorífico del biogás y de otros combustibles	34
Tabla 3.6 Poder calorífico del biogás y de otros combustibles gaseosos ..	34
Tabla 4.1 Estatura y peso de hombre promedio	47
Tabla 5.1 Descomposición funcional	50
Tabla 5.4 Criterios para la selección	52
Tabla 5.3 Escala de evaluación	53
Tabla 5.4 Matriz de selección	53
Tabla 6.1 Criterios para la selección de material	59
Tabla 6.2 Matriz de selección de materiales	60

Tabla 6.3. Criterios para la selección de los ductos.....	62
Tabla 6.4 Matriz de evaluación para la tubería.....	63
Tabla 6.5 Criterios para la selección del material de la cúpula del digestor Batch.....	65
Tabla 6.6 Matriz de evaluación para la cúpula.....	66
Tabla 7.1 Resultados de cálculo.....	78
Tabla 7.2 Resultados de cálculo de la estructura del digestor batch.....	83
Tabla 7.3 Resultado de la Cúpula.....	83
Tabla 7.4 Resultados de calculo de la estructura y Cúpula del gasómetro.....	85
Tabla 7.5 Requerimientos de presión en accesorios domésticos diseñados para utilizar biogás y su consumo.....	86
Tabla 7.6 Valores de la rugosidad media “k” en tubos.....	87

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

A.: Area

c.c.a.: Centímetros de columna de agua.

cm.: Centímetro (s).

C: Carbono

CISPI: Comisión Intercultural de Salud con Pueblos Indígenas.

D: Diámetro.

D_{int} : Diámetro interno.

e.: Espesor.

f.: Superficie

FUDECI: Fundación para el Desarrollo de la Ciencia.

h.: Altura o cota

H: Altura o cota.

hr.: Hora (s)

Kcal.: Kilocaloría (s)

Kg.: Kilogramo (s)

Kw.: Kilovatio (s)

m.: Metro (s)

mm.: Milímetro (s)

MSDS: Ministerio de salud y desarrollo social

N: Nitrógeno

P: Presión, peso

$P_{cil.}$: Peso del cilindro

$P_{dis.}$: Presión de diseño

Pe.: Peso específico.

pH: Grado de acidez y alcalinidad

plg.: Pulgada (s).

$P_{sistema}$: Presión del sistema

P_{tapa} : Peso de la tapa

R : Radio de curvatura.

$S.V.$: Sólidos volátiles.

$S.T.$: Sólidos totales.

$Vol.$: Volumen.

V_{cil} : Volumen del cilindro

V_{cup} : Volumen de la cúpula

V_{piso} : Volumen de la concavidad del piso

V_t : Volumen total

$V.V.I.$: Volumen de vacío inicial

V_2 : Producción Almacenada diaria de Gas

V_2 : Volumen total acumulado de Gas en el interior del biodigestor chino
: Diferencia.

D_{hidro} : Diámetro de la camarada hidropresion

GLOSARIO

ADOBE: Masa de barro mezclado a veces con paja moldeado en forma de ladrillo y secado al aire, que se emplea en la construcción de paredes o muros.

AEROBIO: Que necesita oxígeno para subsistir.

AFLUENTES: Es el líquido (efluente de un proceso productivo) que entra en la planta de tratamiento para su saneamiento.

BIOABONO: Subproducto sólido y líquido proveniente de la degradación anaerobia de los desechos sólidos agropecuarios, los cuales debido a los procesos de transformación que sufrieron, presentan características de fertilizantes orgánicos.

BIOMASA: Suma de toda la materia orgánica disponible que puede usarse como medio para la obtención de energía.

BIODIGESTION ANAEROBIA: Proceso de la mineralización de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, obteniéndose subproductos sólido, líquido y gas.

BIOGÁS: Gas combustible producto de la digestión anaerobia (principalmente Metano (CH_4) y Anhídrido carbónico (CO_2) en proporciones variables).

COMPOST: Material orgánico estabilizado con propiedades fertilizantes y acondicionadora de suelos.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO): Representa el oxígeno requerido para oxidar la materia carbonada con un fuerte oxidante en medio ácido.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO): Representa el consumo de oxígeno molecular que es usado por microorganismos (principalmente bacterias) para oxidar la materia orgánica biodegradable en un periodo de tiempo y temperatura dada.

DIGESTOR ANAEROBIO: Estructura hermética en donde se lleva a cabo el proceso fermentativo anaerobio de degradación de los sustratos orgánicos.

EFLUENTES: Líquido que sale de un proceso productivo contaminado y debe tratarse.

GASOMETRO: Estructura hermética que permite almacenar el biogás generado de la biodigestión anaerobia de la muestra orgánica.

INOCULAR: Introducir en el medio a fermentar una sustancia que contenga los microorganismos responsables de llevar a cabo el proceso.

MAMPOSTERIA: Actividad de la construcción que se realiza a mano por el hombre.

NUTRIENTES: Elementos químicos de naturaleza inorgánica que son proporcionadas a las plantas a través de las raíces a expensas de las sustancias minerales presentes en el suelo o sustrato.

SANEAMIENTO AMBIENTAL: Proceso de transformación de elementos contaminantes provenientes de actividades humanas, en sustancias asimilables por el medio ambiente.

TIEMPO DE RETENCIÓN: Periodo de tiempo durante el cual la materia orgánica permanece en fermentación.

TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA (TRH): El tiempo en que la carga (masa de líquido y sólido) va a estar dentro del sistema para su degradación.

CAPÍTULO 1

Introducción y alcances

1.1.- Introducción

Las proyecciones del uso de la energía global se basan en escenarios que son contruidos alrededor de suposiciones acerca de cuán lejos la economía se expandirá, cuán rápido crecerá la población mundial, el grado de avance tecnológico, medidas de conservación, la adopción de tecnologías energéticamente eficientes, la disponibilidad relativa y precio de los combustibles fósiles. Estos escenarios sugieren que en el año 2010, los combustibles fósiles probablemente absorberán las $\frac{3}{4}$ partes de la demanda de energía comercial del mundo y el uso de energías renovables jugará un pequeño rol, pero en ascenso, en los próximos 30 años. Las energías renovables tales como la eólica, la solar en sus diferentes formas, contribuyen con una cifra inferior al 2% en la provisión global de la energía. ^[1]

La biomasa es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por el reino vegetal y animal, el sistema urbano e industrial, existiendo por lo menos en alguna de sus formas en todos los espacios geográficos. El uso de la biomasa aporta beneficios que no son sólo energéticos, su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector rural, la principal forma de contaminación es el estiércol, que genera malos olores y polución con nitratos al agua de consumo.

La opción del uso del estiércol permite responder a una demanda de la sociedad, las actividades agrícola-ganaderas deben ser más respetuosas del medio ambiente, y en particular deben promover la reducción de posibles fuentes de contaminación. Existe la necesidad de asumir una nueva actitud de administración y desarrollo sostenible, para conservar y al mismo tiempo mantener la productividad de nuestros recursos, y de generar cambios positivos en las políticas de crecimiento, para terminar con el patrón actual de deterioro ambiental. En este contexto el presente trabajo presenta el diseño de un biodigestor para producir biogás y fertilizantes (bioabono) a partir del saneamiento de los desechos orgánicos de una granja autosustentable. Para cumplir con el objetivo propuesto, se utilizó una metodología de diseño conformada por tres grandes bloques: estudio de la necesidad, generación de soluciones y evaluación, selección y desarrollo de la propuesta final.

1.2.- Antecedentes

Los déficit y costos crecientes del abastecimiento de petróleo han impulsado a muchos países a encarar estudios sobre práctica de fuentes de energía que reemplacen los habituales combustibles derivados de sistemas convencionales no

renovables cuya extinción está prevista para el próximo siglo. Entre los recursos energéticos renovables, se cuenta con una fuente de energía explotada durante las penurias económicas y energéticas producidas durante y después de la última guerra mundial. Se trata del gas del estiércol, gas de los pantanos o gas de granja, producido por fermentación del estiércol de animales, de la paja y de residuos agrícolas en general. Por su origen biológico se lo conoce mundialmente como biogás, que es una mezcla de gases conteniendo metano CH_4 (50 a 70%), anhídrido carbónico CO_2 (30 a 45%), hidrógeno H_2 (1 a 3%), oxígeno O_2 (0,5 a 1%), gases diversos (1 a 5%) y vestigios de anhídrido sulfuroso^[2].

El proceso de fermentación anaeróbica que produce el biogás, produce también una mezcla residual que es un rico fertilizante orgánico de mayor calidad y contenido de nitrógeno que el estiércol fresco y que puede ser utilizado para formar un compost con residuos vegetales o ser distribuido sobre los campos como fertilizante de considerable valor. El biogás y el abono residual de la operación, se han convertido en una fuente ideal de energía para las naciones con poblaciones rurales numerosas sin medios económicos y prácticos para disponer de energía convencional. Es así como ha tomado un gran impulso sobre todo en Asia, en países como China y la India, donde ya habría cerca de 500.000 plantas del tipo familiar instaladas y funcionando a pleno.

En algunos lugares se forma el compost a partir de las excretas y de desperdicios orgánicos de la granja, las cuales son colocadas al aire libre en grandes cantidades acumuladas secándose al sol perdiendo nutrientes. Obteniendo de esta manera un abono pobre el cual es el más usado en el medio rural.

Otro método consiste en la acumulación de las excretas en zonas restringidas, cubiertas del sol con una capa de cal y tierra para evitar la deshidratación excesiva y mantener una temperatura óptima en su interior.

1.3.- Planteamiento del problema

El diseño del biodigestor se plantea como una necesidad para la Fundación Para El Desarrollo De La Ciencia (FUDECI) en su propósito para difundir la implementación de las granjas integrales y promover el desarrollo sustentable en las regiones rurales del país.

El proyecto se desarrollara en el área de influencia del Parque Nacional Santos Luzardo ubicado en el estado Apure específicamente en el Municipio Pedro Camejo.

El municipio Pedro Camejo constituye uno de los siete (7) municipios del Estado Apure y a su vez uno de los cincuenta y seis (56) municipios limítrofes del país. Este municipio posee una superficie aproximada de 21.170 Km², así como una población total para el Censo del año 2001 de 23.334 habitantes. Para el año 2002, de acuerdo a cifras publicadas por el Instituto Nacional de Estadística el Estado Apure muestra un 62,2% de incidencia de pobreza, reflejándose esta situación en una baja calidad de vida de la población, e insatisfacciones de necesidades básicas entre las que destaca la alimentación y la dotación de servicios básicos así como la carencia de espacios para la recreación y desarrollo comunitario. ^[3]

El aislamiento geográfico, impuesto por las condiciones hidrográficas de la región, permitió que las comunidades indígenas de la zona preservaran su sistema de vida relativamente libre de influencias externas, las mejoras en las vías de comunicación hacia el área, la construcción de puentes y la carretera, propiciaron la afluencia de visitantes al área, constituyéndose como un destino para desarrollar actividades turísticas de aventura, ecoturismo y pesca deportiva en el ámbito nacional e internacional, generándose un intercambio poco favorable para las comunidades indígenas, ahora confrontadas con nuevas necesidades que la comunidad no puede satisfacer.

El Proyecto granja autosustentable se enmarca dentro de los Planes para el Desarrollo a escala nacional para revertir la tendencia del crecimiento de la pobreza mediante la capacitación masiva de la población campesina y las etnias

indígenas, la preservación de su hábitat, cultura y sistemas de vida y el fortalecimiento del trabajo comunitario para brindar mejores oportunidades a la población campesina e indígena. En dicha granja se producirán diariamente una cantidad de excretas animales y humanas las cuales si se les da un mal manejo pueden ser foco de infecciones y enfermedades, ya que en la zona donde se desarrollara el proyecto no existen sistemas de drenaje de aguas negras.

Debido a esto, se diseñara un biodigestor el cual utilizará estos desperdicios como materia prima teniendo como producto gas (biogás), un residuo con alto contenido de nutrientes (abono orgánico) y aguas residuales ideales para el riego. La principal ventaja del biodigestor viene dada por la parte ambiental, teniendo como sub-producto la producción de gas el cual suplirá algunas de las necesidades energéticas de la granja ya que por la ubicación de la granja no es fácil el suministro de gas ni energía eléctrica. Este sistema de tratamiento de los desechos orgánicos de la granja cumple con los principios de autosustentabilidad del proyecto.

1.4.- Objetivos

1.4.1.- Objetivo general

- Diseñar un biodigestor para una granja autosustentable.

1.4.2.- Objetivos específicos

- Estudiar la composición de los desechos generados por la granja.
- Definir la ubicación del biodigestor.
- Desarrollar un sistema de captación y transporte, hacia el biodigestor, de los desechos generados por la granja.

- Estudiar los usuarios y los parámetros ergonómicos involucrados en el problema.
- Estudiar los diferentes tipos de biodigestores construidos para aplicaciones similares.
- Establecer las especificaciones de diseño.
- Proponer conceptos solución utilizando técnicas creativas, para los diferentes componentes estructurales del biodigestor.
- Seleccionar un concepto solución sobre la base de los criterios ponderados de diseño previamente establecidos.
- Determinar la estructura final del biodigestor.
- Seleccionar los materiales y los procesos de manufactura que se utilizaran para la fabricación del biodigestor.
- Seleccionar el sistema de instrumentación del biodigestor.
- Seleccionar el sistema de almacenamiento y distribución del biogás.
- Seleccionar el sistema de recuperación del bioabono.
- Elaborar los planos del biodigestor.
- Elaborar los manuales de instalación, operación y mantenimiento.

1.5.- Alcances

Los alcances que se proponen son los siguientes:

- Estudiar los aspectos relacionados con los desechos de la granja y definir la ubicación del biodigestor
- Desarrollar un sistema de captación y transporte de los desechos generados por la granja.
- Analizar los aspectos ergonómicos, tecnológicos y de usuarios con el fin de establecer las especificaciones del biodigestor.

- Proponer conceptos solución utilizando técnicas creativas, evaluarlos y seleccionar el más apropiado, sobre la base de los criterios previamente establecidos.
- Seleccionar la estructura final del biodigestor.
- Selección de materiales para la fabricación de la estructura y otros elementos fijos a la misma.
- Seleccionar el sistema de almacenamiento y distribución del biogás.
- Seleccionar el sistema de recuperación del bioabono.
- Selección del sistema de instrumentación.
- Elaboración de los planos del biodigestor.
- Elaboración de manuales de Operación, Instalación y Mantenimiento.



CAPÍTULO 2

Tratamiento de los desechos de la granja

2.1.- Introducción

En este capítulo se realizará el estudio de los desechos generados por la granja. El cual abarca aspectos relacionados con la composición de los desechos y su potencial para el aprovechamiento energético, así como la disposición en la granja de las fuentes generadoras de los mismos. De esta manera se estudiarán los aspectos ecológicos involucrados al tratamiento de estos desechos, para finalizar determinando la ubicación del biodigestor dentro de la granja de acuerdo con los parámetros anteriormente nombrados.



2.2.- Composición de los desechos generados por la granja

La materia prima generada por la granja que puede ser digerible por el biodigestor puede ser clasificada en:

- Estiércol de animales (vacuno, equinos, porcinos, ovinos, aves de corral, etc.) es el desecho mas balanceado en celulosas y nutrientes, además de estar ya preparado para la digestión anaeróbica.
- Desperdicios agrícolas: rastrojos de cosechas de cereales, legumbres, hojas y desechos de tubérculos de frutas u hojas de árboles y otros materiales celulósicos.
- Excreta humana: heces y orina de la población rural.
- Desagües: efluentes domésticos.
- Basura: comida, papel y grasas.

En el **anexo 1** se muestran los rendimientos en biogás por fermentación anaeróbica de excrementos animales por cada 100Kg. de peso en vivo.

2.3.- Disposición de las fuentes de desechos

La principal fuente de desechos utilizables como materia prima para el biodigestor son los lugares destinados al alojamiento de los animales para las actividades regulares de la granja. Estos estarán albergados en establos (caballos, cerdos) y corrales (aves, ganado, ovejoes, chigüires). Estas serán instalaciones rústicas con piso de concreto y piso de tierra. Para la evacuación de los residuos puede usarse agua como vehículo y/o puede ser recogida con pala ancha. Los residuos son normalmente evacuados por gravedad a una zona baja donde contarán con drenajes.

Los residuos drenados serán transportados mediante tuberías subterráneas hasta el biodigestor y los desechos sólidos acumulados serán transportados manualmente hasta la entrada del mismo.



En la granja también se presentan otras fuentes de desechos utilizables, como son, tanto los desperdicios residuales de actividades humanas en la cocina, como los provenientes de los baños utilizados por la población existente.

Se encontrará otra fuente de materia prima en los productos de recolección agrícola y las basuras generadas.

2.4.- Aspectos ecológicos

En la actualidad, la contaminación ambiental constituye una de las preocupaciones más importantes a nivel mundial. Por lo tanto, la basura, por ejemplo debe ser depositada en las afueras del cono urbano, ya que la misma constituye un foco de infección pues atrae moscas, roedores y otros animales, quienes aportan bacterias y con ellas enfermedades a la población, además del mal olor que incorpora al ambiente.

La puesta en marcha de la granja en un lugar rural en el cual no existen sistemas de recolección y transporte de los desechos y de aguas residuales puede ocasionar un gran daño al ecosistema de no ser tratado adecuadamente.

Los residuos orgánicos existentes en la basura, pueden ser usados como materia prima de donde extraer energía. Para ello se requiere de un biodigestor.

Mediante la instalación de un sistema de biodigestion en la granja, se garantiza el tratamiento necesario para los residuos orgánicos y la eliminación de los posibles focos de contaminación y enfermedades, produciéndose además un subproducto de mucha utilidad como es el biogás que podrá ser utilizado como combustible en diversas aplicaciones del proyecto.



2.5.- Ubicación del biodigestor

Para determinar la ubicación del biodigestor es necesario considerar la disposición de las fuentes de desechos, el área disponible para la ubicación del digestor y la localización de los puntos de consumo energético que pueden ser surtidos con el biogás. La localización del biodigestor estará próxima a los lugares donde se junta el desperdicio (corrales y establos) y cerca de los puntos de consumo del gas y el efluente. Tomando en cuenta que debe tener una separación de entre 10 a 15 metros de los pozos de agua.



CAPÍTULO 3

Tecnología del proceso anaeróbico

3.1.- Introducción

En este capítulo se estudian todos los aspectos relacionados con el proceso de descomposición de la materia orgánica para formar los productos finales esperados. Se explica el funcionamiento de un biodigestor y los tipos de biodigestores existentes, para finalizar con un estudio de la composición del biogás y de la biomasa y su respectivo análisis de aprovechamiento energético.



3.2.- Proceso de la fermentación anaerobia.

El biogás es obtenido a partir de la degradación o descomposición de la materia orgánica. El principio para la obtención, se basa en que la materia orgánica es una cadena compleja de moléculas que al dejar de ser vivas se descomponen o degradan hacia formas más simples; para que la degradación ocurra se requiere de la acción de varios elementos tales como: el agua, el calor y microorganismos que no pueden vivir en presencia de oxígeno y de sus enzimas que son las encargadas de completar el trabajo.

La degradación anaeróbica se realiza en forma espontánea en los intestinos de los animales, así como también debajo de las aguas estancadas o pantanos. Este proceso se puede realizar en forma artificial introduciendo la materia orgánica en depósitos cerrados herméticos llamados digestores.

El procedimiento consiste en introducir al biodigestor desechos orgánicos mezclados con agua reteniéndolos por un período de tiempo que depende entre otros factores del tipo de desecho, el tamaño de las partículas que la componen y de la temperatura de operación del digestor. A lo largo de este período y en condiciones favorables para el funcionamiento del digestor, las bacterias se encargan de descomponer el material orgánico hasta producir gas el cual sale a la superficie en forma de burbujas acumulándose en la misma.

3.3.- Etapas del proceso de la fermentación anaerobia.

Actualmente se considera que el proceso es mejor explicado bajo un esquema de tres etapas, más acorde al desarrollo actual en el conocimiento de la microbiología y la bioquímica, tal como se muestra en la **Figura 3.1.**

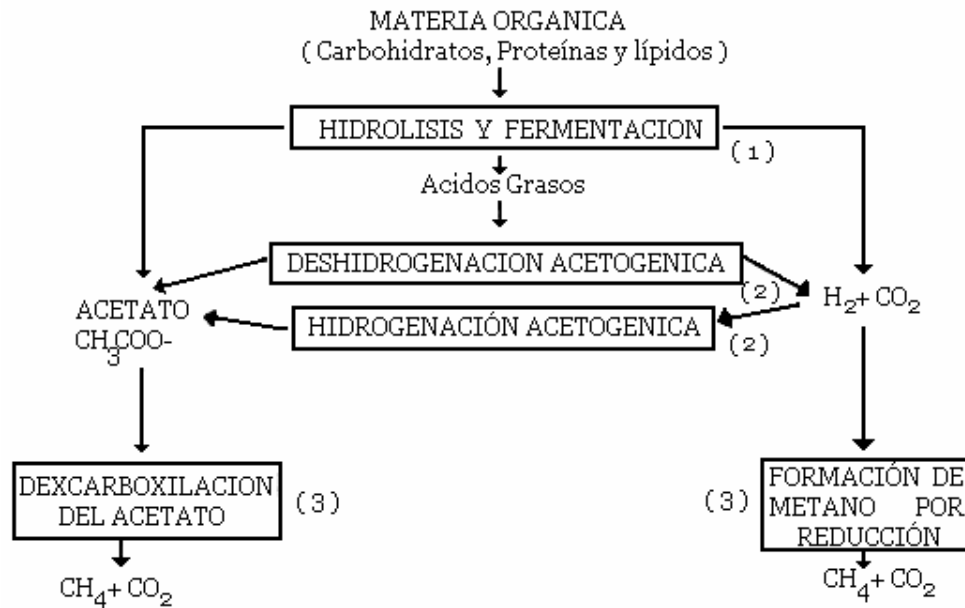


Fig. 3.1. Esquema de la biodegradación anaeróbica de la materia orgánica en tres etapas. ^[4]

El proceso de la biodigestión anaeróbica, entendido en tres etapas, implica:

Primera Etapa: La materia orgánica es atacada por grupos de bacterias fermentativas proteolíticas y celulolíticas, que la degradan hasta ácidos grasos y compuestos neutros.

Segunda Etapa: Esos ácidos orgánicos son atacados por bacterias productoras obligadas de hidrógeno, que llevan los ácidos a acetato y a H_2 y CO_2 . Simultáneamente un grupo de bacterias denominadas homoacetogénicas, degradan los ácidos de cadena larga a acetato y H_2 y CO_2 .

Tercera Etapa: En esta etapa final, las bacterias metanogénicas aprovechan tanto el acetato como el H_2 y CO_2 para producir el metano.



3.4.- Factores que afectan el desenvolvimiento del proceso anaerobio

El proceso anaerobio, por ser un proceso biológico, presenta una serie de factores que lo pueden afectar en su correcto desenvolvimiento. Estos factores pueden ser de origen físico u orgánico, pudiendo interferir con la eficiencia del sistema y en algunos casos extremos, incluso inhibir totalmente el proceso de la digestión.

Entre los principales factores tenemos:

3.4.1. – Clase de sustrato

Existe una relación muy importante entre el tipo de sustrato digerido y la cantidad y calidad del gas producido. En la **tabla 3.1**, se pueden observar los valores teóricos de gas esperados dependiendo de la materia orgánica degradada anaeróbicamente.

COMPUESTO	% CH ₄	RENDIMIENTO DEL GAS (m ³ / Kg. S.V.)
Carbohidratos	50	0,886
Grasas	70	1,535
Proteínas	84	0,587

Tabla 3.1. Rendimiento teórico de gas en función a la materia orgánica degradada ^[5]

Un detalle que se deriva de lo anterior, está representado en la denominada “Relación Carbono/Nitrógeno”, ya que las bacterias necesitan los carbohidratos como su fuente energética fundamental, pero los compuestos nitrogenados son las sustancias que la bacteria utiliza para elaborar las enzimas que le permitirán el aprovechamiento de las mismas. Se estima que la relación C/N óptima, esta en los



rangos de 20 – 30/1, los valores límites llegan a 16/1 y 52/1, en la **tabla 3.2** se consiguen los valores de C/N para diferentes materias primas, donde podemos resaltar los altos valores en los pastos, y el hecho que el estiércol del cochino esta en el límite inferior.

MATERIA PRIMA	RELACION (C/N)
Estiércol de aves	15 / 1
Estiércol de bovino	25 / 1
Estiércol de ovinos	29 / 1
Estiércol de porcino	13 / 1
Estiércol de equino	24 / 1
Estiércol de humanos	2,9 / 1
Pasto y/o pajas secas	40 A 70 / 1

Tabla 3.2. Valores de la relación C / N para diversas materias primas^[6]

La excreta bovina, representa un material adecuado para la degradación, pero sus rendimientos son relativamente bajos comparados con la de los porcinos. El estiércol equino presenta problema por lo fibroso, el de las aves tiende a acidificar el medio si no se le hace una fermentación aerobia previa a la anaerobia. El estiércol de conejo es de aún más bajo rendimiento que el de bovino.

Para inocular, las excretas mas adecuadas son las bovinas en primer lugar siguiendo las de cerdo y las de conejo, aunque cualquier agua cloacal puede utilizarse perfectamente para esa función^[10].

3.4.2.- La temperatura

La temperatura, es uno de los factores que tiene mayor relevancia en el proceso anaerobio, y su importancia es tal, que desde una consideración eminentemente rural, llega a definir las zonas en donde el proceso puede llevarse a cabo, ya sea por la latitud y/o la altitud. También la temperatura es vista, como



el factor en potencia para aumentar la eficiencia de los sistemas principalmente cuando de saneamiento se trata.

En relación a este parámetro se habla de digestión mesófila y termófila. Las bacterias mesofílicas, crecen en un rango de 10 a 40°C. Con un óptimo de 37°C. Las bacterias termofílicas, lo hacen entre 45 a 75°C. Y el óptimo es a la temperatura de 55°C.^[7]

El tiempo de digestión o degradación es afectado por la temperatura tal como puede observarse en la **figura 3.2**, lográndose no solo la disminución en cuanto al tiempo sino que el rendimiento en gas se incrementa a medida que va aumentando la temperatura.

En los países con temperaturas bajas todo el año, como los europeos la tendencia es la construcción de los biodigestores con aislamiento térmico, más que calentarlos.

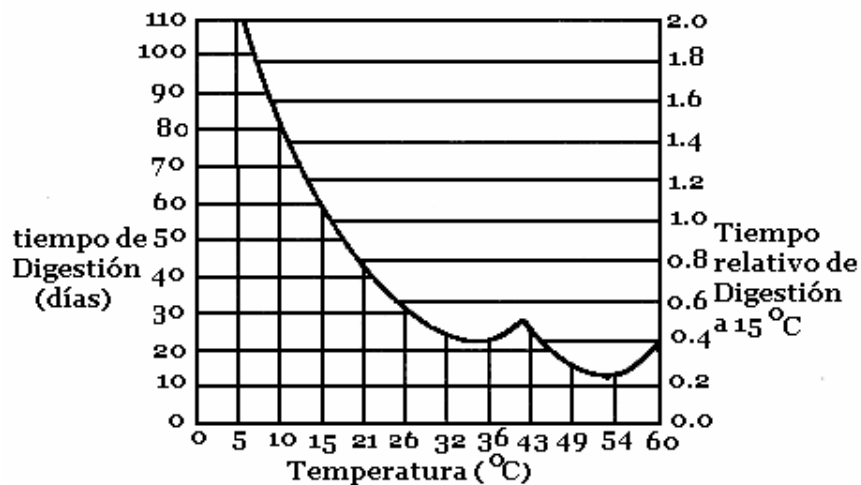


Fig. 3.2. Duración del tiempo de retención en función de la temperatura de digestión ^[7]



En los ensayos llevados a cabo en la planta de biogás de la Facultad de Agronomía (FAGRO) – U.C.V. con los digestores modelo chino (enterrados), se logro determinar que el proceso se mantiene continuamente.

3.4.3.- Acidez y alcalinidad

La digestión anaerobia es un proceso muy estable, los problemas tienden a surgir al principio o reinicio de la operación, muchas de éstas causas están relacionadas directamente con el nivel de pH. El rango de operación adecuada es entre 6,6 y 7,6 y el óptimo entre 7,0 y 7,2. ^[7] Valores superiores de pH ocasionan una disminución en la producción de metano, por la generación de elevadas cantidades de amonio, situación que es común en altas tasas de carga. La concentración de ácido acético en la solución, y el pH mantienen una estrecha relación en cuanto a la inhibición del proceso.

3.4.4.- Relación Carbono – Nitrógeno

Las bacterias consumen tanto carbono como nitrógeno para su crecimiento, sin embargo deben estar presente en una proporción adecuada; si hay poco nitrógeno las bacterias no se multiplican lo que limita la velocidad de producción de biogás; si hay demasiado nitrógeno se produce amoníaco el cual es toxico e inhibe el proceso. La experiencia ha demostrado que la digestión es óptima para una proporción C/N de 30:1. ^[7]

3.4.5.- Porcentaje de sólidos

Se refiere a la cantidad necesaria de agua que debe ser mezclada con la materia orgánica, si este es bajo, la viscosidad de la mezcla aumenta impidiendo el crecimiento bacteriano, si es alto se reduce la capacidad de fermentación del digestor.

La materia orgánica esta formada de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales, para calcular el volumen necesario de agua con que debe ser



mezclado para obtener la proporción óptima es indispensable conocer el porcentaje de los sólidos totales contenidos en la materia orgánica.

La experiencia de India y China han demostrado que se puede trabajar en un rango de 7-9 % en peso de sólidos secos ^[8]. El grado de dilución del material orgánico mezclado con agua depende de la humedad de cada tipo de desechos.

3.4.6.- Tiempo de residencia

Es el tiempo promedio requerido por los microorganismos en descomponer la materia orgánica y depende de los parámetros operacionales mencionados anteriormente, especialmente la temperatura que es la que controla la velocidad de reacción y por lo tanto la producción de metano.

El tiempo de retención determina el porcentaje de gas que se obtiene de la producción máxima, que es posible obtener a tiempos de residencia muy largos, por lo tanto es necesario establecer una relación entre el volumen de gas que se va a producir y el tiempo de retención al que se obtiene.

3.5.- Materia prima para la producción del biogás ^[9]

La materia prima utilizable en el proceso anaerobio puede provenir, tanto de los desechos humanos y animales (excretas), así como vegetales en el sentido de los restos de cosecha, pastos, o desechos hortícolas.

Comparativamente, la producción de biogás en los materiales de origen vegetal es superior que en los de origen animal, estimándose en general que el rendimiento en pastos es de aproximadamente 0,40 m³/Kg.S.T. mientras que en las excretas se estima cercano a unos 0,25 m³/Kg.S.T. Aunque en este segundo caso, los beneficios descontaminantes de la tecnología incorporan un incremento utilitario difícil de cuantificar.



MATERIA PRIMA	RENDIMIENTO EN m ³ /Kg. de S.T. (6%)		
	N	X	S
Excretas De Bovino	6	0,205	0,07
Excretas De Caballo	4	0,284	0,04
Excretas De Cerdo	6	0,373	0,08
Excretas Humanas	4	0,403	0,05
Pasto Verde	4	0,391	0,09
Paja De Arroz	5	0,409	0,03
Soca De Maíz	4	0,442	0,07

Nota: N = Número de instituciones que reportan un valor.
X = Promedio de los valores dados.
S = Desviación estándar de los valores reportados.

Tabla 3.3. Rendimientos en biogás para diversas materias primas ^[9]

3.6.- Propiedades de la materia prima

La materia prima que puede ser utilizada para la generación de biogás debe ser material orgánico natural, generalmente celulósico y que contenga una adecuada cantidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y metabolismo de las bacterias.

La digeribilidad de los desechos orgánicos depende de las características físico-químicas de estos. Ver **anexo 1**.

Humedad: Es la cantidad de agua perdida (%) al secar la materia orgánica a 104 °C hasta peso constante.

Sólidos totales (S.T.): Es el peso de materia orgánica que queda (%) después del secado mencionado. Está formado de sólidos digeribles y no digeribles.



Sólidos volátiles (S.V.): Es el peso de materia orgánica quemada cuando se somete a un calentamiento de alrededor de 500°C. Está constituido por sólidos biológicamente digeribles.

Sólidos fijos: Es el peso que queda después de quemar la materia orgánica. Este valor representa el material biológicamente inerte no digerible.

Lignina: Es un material volátil no digerible y generalmente esta presente en los desechos agrícolas. Un alto contenido de lignina inhibe la digestión anaeróbica encerrando a los materiales digeribles como la celulosa.

Carbohidratos: Es la materia orgánica digerible que actúa como substrato en la digestión anaeróbica, proporcionando el carbono, que es la fuente de energía necesaria para la producción de biogás. En los desechos agrícolas el principal carbohidrato es la celulosa.

Proteínas y contenido de nitrógeno: Es la materia orgánica digerible que actúa como substrato en la digestión anaeróbica, proporcionando los nutrientes necesarios para la acción bacterial.

Grasas: Es la materia orgánica digerible que actúa también como substrato, aunque en algunos casos son un obstáculo para la solubilización de la materia orgánica, como en el caso de los desechos agrícolas.

3.7.- Formas de operación en los digestores rurales

Los digestores rurales, son operados en tres formas, que implican no sólo la presentación de la materia orgánica a ser degradada, sino que de las mismas se derivan condiciones de diseño tanto en los digestores como en el sistema en su globalidad, además de ciertos beneficios adicionales relacionados con el producto degradado. Estas formas de operación son las siguientes:

Operación continua: ^[10] Bajo esta forma de operación se engloba una condición de carga al digestor basada en una alta dilución, la cual esta relacionada



con la excreta (En volumen 3 a 5 veces agua/excreta). Esta forma de operación, facilita el manejo del digestor, ya que lo que se hace es un manejo hidráulico del sistema, que puede llegar, incluso a no requerir mano de obra en la operación si las condiciones topográficas son favorables, de requerirla, esta es de solo pocos minutos por día. Las desventajas que tienen son; dada la alta dilución, el proceso es susceptible a interrumpirse por la irregularidad en la carga, o la presencia de sustancias tóxicas, y el bioabono resultante no es comercial por su presentación acuosa. La rutina de carga, implica una periodicidad diaria, o interdiaria, no conviene alargar más los periodos. Bajo estas circunstancias, el periodo de retención degradativo, queda enmascarado en el periodo de retención hidráulico que se ha estimado para condiciones tropicales en un rango de 5 a 15 días

Operación discontinua ^[10]: También conocida por los sinónimos de “por lotes”, “todo adentro todo afuera” o “batch”. Implica una forma de operación donde la materia orgánica, en una alta concentración de sólidos en donde el agua tiene el principal rol de crear la condición de anaerobiosis, es colocada en la estructura, y mantenida en la misma acorde al tiempo de retención o degradación necesario. El requisito más importante para un adecuado desenvolvimiento del proceso es una debida inoculación, cuando se fermentan materiales vegetales, siendo ésta la ventaja sobre la operación continua ya que aquella sólo acepta excretas diluidas, mientras que el batch, tiene más versatilidad en cuanto a la materia prima. Las ventajas operativas son que el proceso después reiniciado, prácticamente llega a su culminación sin contratiempos, y requiere mano de obra sólo en los momentos de carga y descarga, la desventaja es que es un manejo de sólidos, que si son en magnitud considerables puede requerir el uso de maquinaria. Las ventajas que se derivan del proceso en si son el de una gran producción de gas por unidad de volumen por tener elevada concentración de sólidos, y la producción de un bioabono de alta calidad en cuanto a textura y presentación, que lo hacen comercializable. Una desventaja de la operación es que debido a la necesidad de cargar y descargar el digestor, hay periodos sin producción de gas, lo cual implica que si se quiere tener una determinada oferta



del mismo, deben concurrir varias estructuras, por lo general dos, o sobrediseñar la única. En todo caso la presencia de un gasómetro o almacenador de gas es práctica casi obligada.

Operación semicontinua: ^[10] Bajo esta forma de operación se le añade al digester una carga batch, que llena el 80% de la capacidad del digester, reservando el 20% restante a cargas continuas diarias. Este procedimiento es el más generalizado en la Republica Popular de China, reúne las ventajas y desventajas del batch, y en el caso del bioabono, en particular, la continua adición de materia orgánica rica en nutrientes incrementa aun más su calidad.

Una determinada de operación, determina los estratos fermentantes que se encuentran en el interior del digester tal como puede observarse en la **figura 3.3**, en donde se señalan los estratos y su fin utilitario.

El abono extraído del digester continuo, es sólidos en suspensión, el cual se debe manejar aplicándolo sistemáticamente en sustitución del riego convencional, rotándolo en la superficie bajo cultivo, a fin de abarcar toda el área.

El abono del digester batch, es un lodo saturado, que se deja secar al aire y luego se aplica como cualquier abono orgánico incorporándolo al suelo o sustituyendo en el caso de las plantas en recipiente la casi totalidad del suelo.

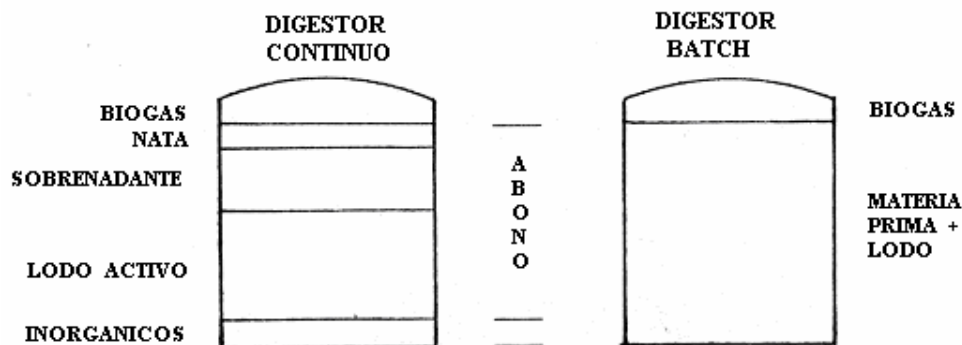


Fig. 3.3. Estratificación de la materia fermentante, y del gas combustible en digestores de acuerdo al régimen de operación.



3.8.- Modelos de digestores popularizados en el medio rural

Existe una gran variedad de modelos de digestores a nivel mundial, habiéndose popularizado algunos más que otros. De entre los más populares, se encuentra: el modelo chino, el modelo indio, el modelo OLADE Guatemala el modelo xiochicalli, los modelos plásticos tubulares y rectangulares. Existen otros modelos que son mixtos entre el indio y el chino como del Gobar, y algunos derivados a partir del chino como el Changhai y el Janata. Sus constructores y diseñadores exaltan las ventajas de uno sobre otro dependiendo de sus experiencias y gusto, lo importante es que con una buena construcción, en los digestores de mampostería, y usando materiales de buena calidad en los prefabricados, el proceso se cumple a cabalidad. En cuanto al costo, los de mampostería tienden a ser más económicos que los que requieren prefabricación o metalurgia.

Un aspecto importante radica en que, la forma de operación se relaciona con el modelo de digestor, en forma casi obligada para algunos modelos, otros son versátiles en ese sentido.

Modelo chino

Este modelo de digestor, de amplia difusión en la República Popular de China, donde se han construido en este modelo un elevado porcentaje de los 7.5 millones de digestores existentes allá. La característica principal es que luce redondo y achatado, ver **figura 3.4** es conocido también por ser un digestor de cúpula fija. Consta de una cámara de fermentación o digestor propiamente dicho, que a la hora del diseño se prevé que almacene en su cuerpo el 50% de la producción de gas diaria. ^[6]. Adyacentes al digestor están la cámara de hidropresión y la cámara de carga, donde la hidropresión, tiene una importancia fundamental, en el momento del diseño. La construcción se hace con bloques de concreto, de adobes cocidos y concreto armado quedando la estructura completamente enterrada (si las condiciones del suelo lo permiten). Al sistema se le puede incorporar un almacenador de gas o gasómetro, aumentando así la



capacidad fermentativa del digestor (por tener que almacenar menos en el cuerpo). La construcción, aunque es inusual puede ser afrontada por un albañil profesional con una supervisión adecuada, a fin que se garantice una excelente calidad en la misma. Ver **anexo 2**.

Los digestores chinos, favorecen el proceso fermentativo, por estar enterrados, con poca influencia por los cambios de temperatura, como podría ocurrir en digestores superficiales en las mismas condiciones.

Una desventaja, que presentan los digestores chinos, es que la presión es variable, depende de la cantidad de gas acumulado, dificultando el correcto desenvolvimiento de los equipos ver **figura 3.5**. El control de evitar altas presiones, dañinas a la estructura se ejerce con una adecuada cota de alivio en la cámara de hidropresión aunque no es completamente seguro, puesto que puede seguir la producción de gas y deprimirse aun el nivel de la superficie en el interior del cuerpo del digestor, hasta llegar a la presión crítica. Un control más efectivo se hace mediante las denominadas “trampas de agua”, que impiden que la presión ascienda de un valor fijado, a priori, y que se ha generalizado en 50cm. De columna de agua, lo cual es una presión como se verá más adelante adecuada a las demandas de los equipos y a las condiciones de flujo de las tuberías. Ver **Fig. 7.5**

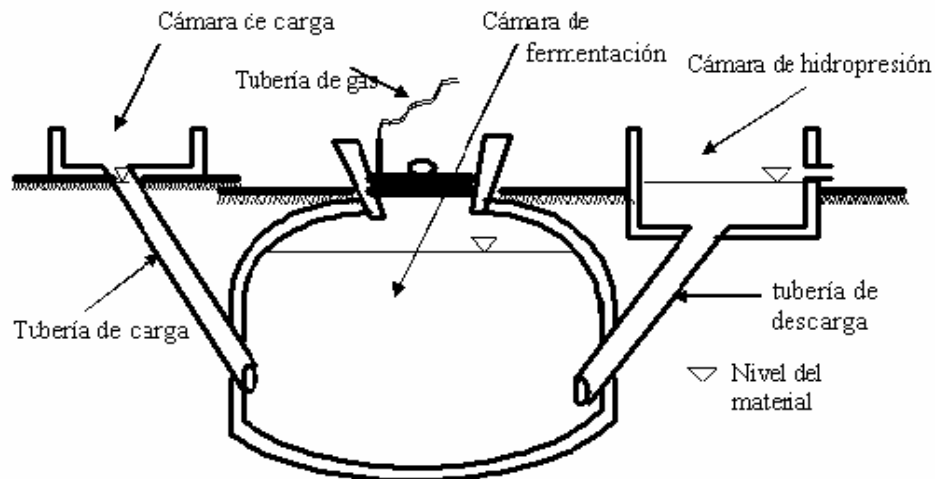
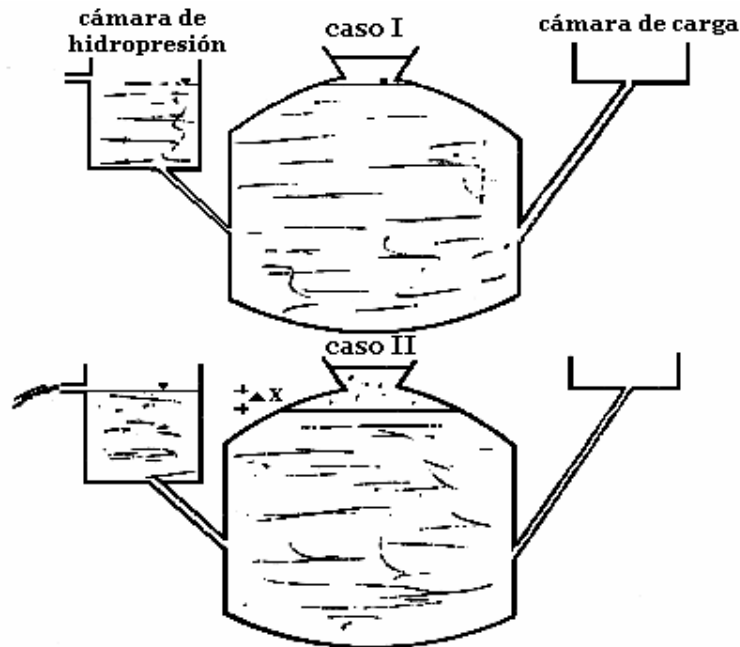


Fig. 3.4. Vista lateral transversal de un digestor “Modelo Chino”



CASO I. Presión = 0, Volumen de gas = 0

CASO II. Presión = Δx , Volumen de gas = Y

Hay alivio de efluente (índice de producción de gas).

Volumen de Efluente = volumen de gas acumulado.

Fig. 3.5. Visión esquemática de la variación de la presión en un digestor chino.

Modelo Indio

Este modelo de digestor es originario de la India, y se ha difundido ampliamente, debido a una serie de ventajas que posee, entre las que podemos resaltar la del mantenimiento de la presión de trabajo constante, el volumen de la estructura se ajusta entonces a la demanda del proceso fermentativo. Su construcción es en bloque y concreto, y quizás la única desventaja que posee es la de requerir el gasómetro incorporado lo cual le implica el denominativo de “digestor de cúpula móvil”, el cual se fabrica principalmente de acero, y que es generalmente muy costosa, se han hecho intentos de abaratarla usando concreto armado y otros materiales como la fibra de vidrio, bambú-cemento, pero no se



abarata en algunos casos y en otros la estructura no es confiable. Ver figura 3.6. El gasómetro posee una camisa que desliza por un eje y le mantiene centrado a fin de no rozar las paredes ni escorar, este eje descansa de una viga transversal de concreto armado, y se acostumbra enjaularlo.

La operación de los digestores indios, es casi obligatoriamente continua, debido a que en una carga batch, el gasómetro se encajaría en la materia sólida dificultándose su movimiento.

El digestor indio se construye generalmente enterrado, quedando la cúpula sin gas en un nivel cercano a la superficie del terreno.

Algunos modelos de indio presentan un tabique septor en el tanque de fermentación, lo cual es una practica que intenta mejorar las condiciones de fermentación, y de desalojo del efluente degradado, por la mayor acumulación de lodo en la primera cámara.

La cúpula metálica puede convertirse en un transmisor de frío al material fermentante desfavoreciendo el proceso. Ver anexo 3

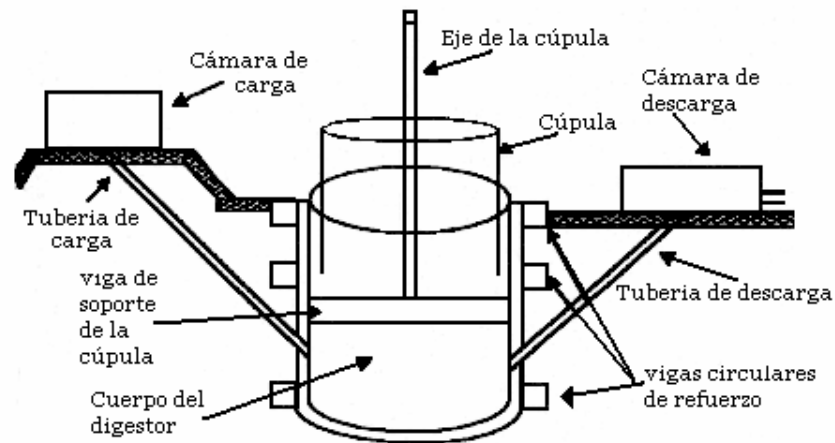


Fig. 3.6. Dibujo de la sección transversal de un digestor “Modelo Indio”



Modelos horizontales. El modelo xochicalli

Se habla de digestores horizontales, cuando estos no profundizan en el suelo, característica más propia de los dos modelos explicados anteriormente. Los digestores horizontales, tienden a ser rectangulares, aunque los hay cuadrados. El digestor xochicalli es un modelo horizontal, de sección trapecial

Se caracterizan por ser en su mayoría de concreto armado, ya que las exigencias estructurales producto de la presión a que estará sometida la obra, no serian bien llevadas en el caso de trabajar en bloques a menos que se hagan columnas y se arme la cúpula evitando tracciones que despeguen la cúpula de las paredes.

Se piensa en estos digestores, cuando de saneamiento se trata ya que su conformación alargada, garantiza que el afluente ocupara volumétricamente un espacio subsiguiente hasta salir del cuerpo del digestor; saneado, presentándose en su máxima expresión el denominado “flujo pistón”.

Los digestores de este tipo, llevan generalmente una pequeña cúpula metálica desmontable, para que sirva de boca de visita y la presión es controlada por sello de agua.

Los digestores horizontales requieren gasómetro adicionado, debido a la poca capacidad de almacenamiento de la cúpula y el cuerpo del digestor.

En Méjico, se ha popularizado el modelo, pero su uso primordial ha sido dedicado al saneamiento de efluentes, con poco o ningún aprovechamiento del gas.

La Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, ha difundido el modelo tanto en centro América como en el Caribe, en Jamaica ha tenido éxito a nivel rural. Ver **anexo 4**

Modelos plásticos tubulares

Estos modelos han sido desarrollados bajo el concepto de facilitar la adquisición de la tecnología, en una vida moderna aprovechando la producción de plásticos petroquímicos de alta resistencia.



Comúnmente, se construye una fosa de concreto en forma trapecial o rectangular que le servirá de cama al digestor, aunque podría ser simplemente una excavación o estar en la superficie del suelo. La principal ventaja es su característica, de aparato construido, sus costos son relativamente económicos en los países donde se ha venido difundiendo, como Taiwán, Brasil y Costa Rica, pudiéndose resaltar que en este último, la política de difusión gubernamental estimula subsidiando el uso de los modelos plásticos.

La desventaja principal es que en condiciones tropicales, la radiación solar deteriora relativamente rápido el material de construcción de los digestores, acortando la vida útil de los mismos, se atenúa esta degradación con la construcción de un cobertizo o techo, pero encarece la obra, a menos que sea de palma, o algún tipo de material de construcción rural.

Uno de los problemas operativos que se derivan de estos digestores, y que puede hacerse extensivo a los dispositivos de almacenamiento de gas en plástico es el referente a la presión de trabajo; cuando en el digestor o almacenador hay gas en cantidad suficiente como para que la fibra elástica del material esté a tracción, la presión es elevada, pero al consumir el gas y finalizar el periodo elástico la presión se hace cero obligando a la colocación de objetos sobre la bolsa a fin de lograr cierta presión aumentando el grado de deterioro del material. Ver **anexo 5**

Modelo batch o por lotes

Existen como ya se ha explicado modelos de digestores que por diseño, se ubican en una determinada forma de operación, mientras que otros, pueden utilizarse en las dos formas fundamentales. Entre los que solo pueden usarse en forma de operación batch, tenemos el digestor “OLADE Guatemala”, **ver figuras 3.6 y 3.7**, que es el más popularizado. Se construye en bloque y concreto reforzado y tiene una cúpula fija en sello de agua. Las ventajas son las derivadas del proceso anaerobio por lotes señaladas anteriormente. La desventaja, es la necesidad de acompañar el sistema con un gasómetro, y la condición de manejo de la materia prima es la del manejo de sólidos.

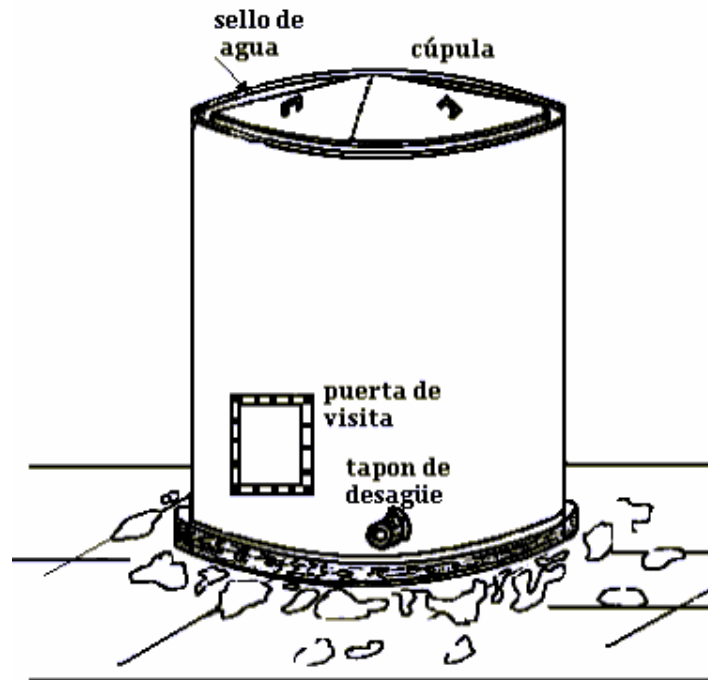


Fig. 3.6. Perspectiva de un digester “OLADE Guatemala”

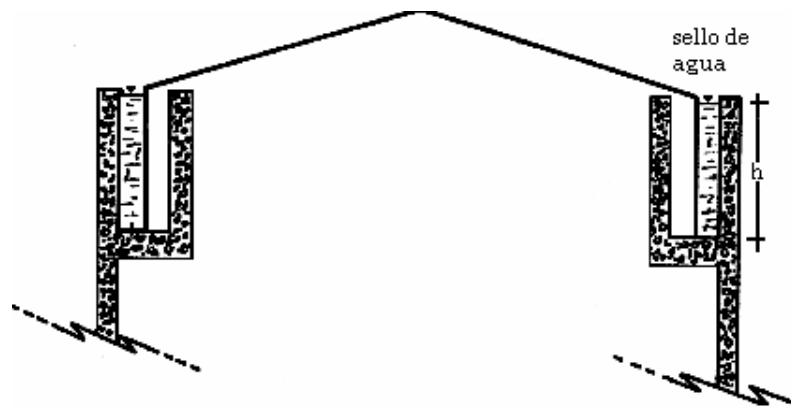


Fig. 3.7. El sello de agua, detalle de la inserción de la cúpula. $H =$ presión máxima.



Como se ha resaltado, una desventaja de los digestores en régimen de operación batch, es la del manejo de un material sólido, que implica mano de obra o maquinaria de allí que se hayan intentado diseños a fin de facilitar la labor, un ejemplo es el digestor oscilante, el cual tiene un eje que pivotea en dos rolineras que están en los extremos, que le permite rotar y así descargar el material ya fermentado, ya que el material sin fermentar por lo general es liviano. La desventaja que presenta el sistema es que al ser aéreos, están bajo la influencia de la variación térmica.

La operación batch, permite aprovechar una gran cantidad de restos vegetales, y el requisito fundamental es el de una buena inoculación con material de fermentación de 5 al 10% en base a peso, con lo cual se garantiza una adecuada fermentación. ^[12].

El rendimiento volumétrico de gas, siempre es superior a cualquier digestor continuo, dado el alto contenido de sólidos totales de la carga. Similarmente el rendimiento en abono sólido es elevado.

La construcción de los digestores OLADE Guatemala, se realiza principalmente en mampostería, aunque los hay en concreto armado obra limpia.

Como se ha resaltado anteriormente, debido a las características degradativas del sistema batch, en el que se carga el digestor con la materia prima, y se le deja degradarse totalmente, ocurren periodos en los que la producción de gas no satisface los requerimientos, por lo que se hace necesario el uso de varias estructuras, aunado también a las circunstancias de que la capacidad de almacenamiento en la cúpula fija es relativamente baja. Todo esto hace un requerimiento obligado el proveer de un almacenador de gas a los sistemas. En la **figura 3.8**, se demuestra la curva típica de producción de una batería de digestores batch, en la que puede apreciarse la necesidad de varias estructuras para satisfacer un requerimiento mínimo de $0,8\text{m}^3/\text{día}$ y las posibilidades de almacenamiento que habría. Ver **anexo 6**

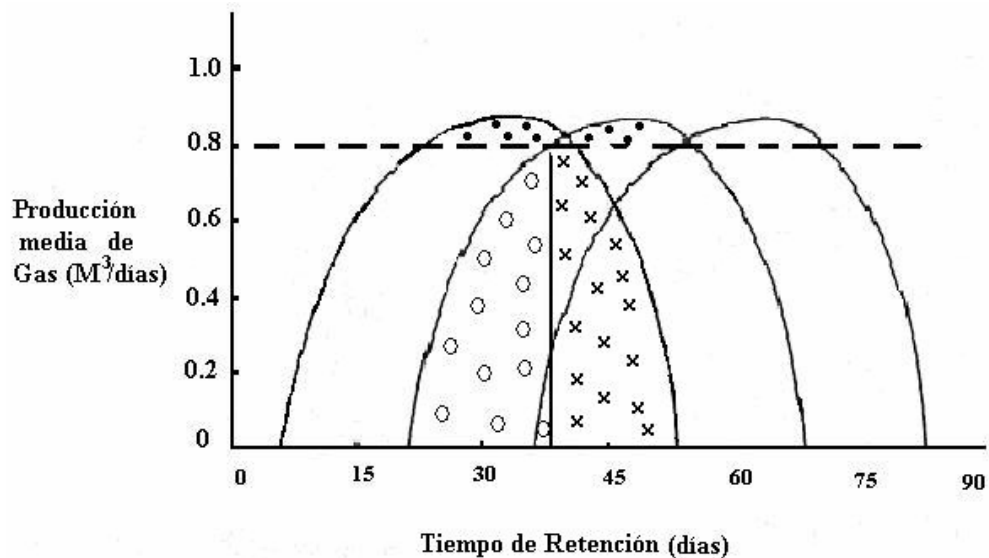


Fig. 3.8. Producción típica de batería de digestores batch y posibilidades de almacenamiento de biogás.

Fuente: Planta de biogás FAGRO-U.C.V.

3.9.- Composición del biogás y del bioabono

El biogás o gas biológico consiste en una mezcla de gases producto de la fermentación anaeróbica de desechos orgánicos como los son el estiércol de animales (vacas, porcinos, bovinos, aves, etc.) desechos agrícolas, agroindustriales, desechos humanos u otros desperdicios biodegradables.

Los principales componentes del biogás son el metano y el dióxido de carbono con una proporción que oscila entre 54 – 70 % y 27 – 45 % respectivamente. El metano es el constituyente principal y componente energético útil y del contenido de este depende el valor combustible del biogás.

Incluyendo todos los componentes, el biogás está formado por:



METANO	CH ₄	54 – 70 %
DIÓXIDO DE CARBONO	CO ₂	27 – 45 %
HIDROGENO	H ₂	1 – 10 %
NITRÓGENO	N ₂	0.5 – 3 %
ANHIDRIDO SULFUROSO	H ₂ S	0.1 %

Tabla 3.4. Composición del biogás ^[13]

Luego que se ha completado o finalizado el proceso de digestión, además de producirse biogás, el desecho orgánico queda convertido en un lodo (sólido – líquido) llamado bioabono, el cual es un acondicionador orgánico rico en micro – organismos y minerales esenciales que se incorporan fácilmente al suelo, enriqueciéndolo mas que otros abonos tradicionales, además actúa como catalizador de otras materias orgánicas que se incorporan al suelo y a diferencia del estiércol fresco, que es usado como abono, no posee olores desagradables^[10].

Otra de las ventajas de este residuo (bioabono) se encuentra en el ámbito agrícola ya que al producirse grandes volúmenes de este abono orgánico se reduce la dependencia de los fertilizantes químicos, los cuales empobrecen a la larga la capacidad nutritiva de los suelos.

3.10.-Aprovechamiento energético

De los principales componentes del biogás como son el metano y el dióxido de carbono, puede deducirse su poder calorífico, tomando en cuenta por una parte el intervalo de 54–70% de metano en el biogás y por otra parte el poder calorífico del metano es 11.953 Kcal./Kg. Considerando aproximadamente un 60% de CH₄ volumétrico, el poder calorífico del biogás sería entonces de 5400 Kcal./m³.^[8]

El poder calorífico del biogás lo hace un combustible apreciable tanto en el ámbito domestico como en la industria al ser usado en calderas o en motores de combustión interna.



En la tabla siguiente se muestra el poder calorífico del biogás comparado con otros combustibles.

COMBUSTIBLE	Kcal./Kg.	EFICIENCIA	Kcal. /Kg. EFECT.
Coque	5852 - 6400	28 %	1640 - 1800
Carbón de piedra	6650 - 7450	28 %	1860 - 2090
Leña	3750 - 4550	17.3 %	650 - 785
Kerosén	10400	48 %	5000
Diesel	10100	-	-
Biogás	6920 - 7980	60 %	4150 - 4800
Electricidad	825 Kcal./Kw. - hr.	70 %	628 Kcal./Kw. -hr

Tabla 3.5. Poder calorífico del biogás y de otros combustibles^[8].

GAS COMBUSTIBLE	PODER CALORIFÍCO (Kcal./m ³)
Gas de ciudad	3850 - 4275
Biogás	4650- 6000
Metano	8000 - 9150
Gas natural (basado metano o propano)	9000 - 9100
Propano	19000 - 22500
Butano	25000 - 29000
Acetileno	12800 - 13700

Tabla 3.6. Poder calorífico del biogás y de otros combustibles gaseosos^[8].



CAPÍTULO 4

ESTUDIO DE USUARIOS E INVESTIGACIÓN ERGONÓMICA

4.1.- Introducción

La investigación de usuarios tiene como finalidad recopilar información de campo de las personas que están en contacto directo con la necesidad, determinar que necesidades se quieren cubrir con el diseño final y obtener las especificaciones del equipo. Para esto, se utilizan técnicas como: identificación de usuarios, viajes de usuarios y estudio de conductas de usuarios.

La ergonomía es el estudio del trabajo en relación con el entorno en que se lleva a cabo (el lugar de trabajo) y con quienes lo realizan (los trabajadores). Se utiliza para determinar cómo diseñar o adaptar el lugar de trabajo al trabajador a fin de evitar distintos problemas de salud y de aumentar la eficiencia.



4.2.- Estudio de usuarios

4.2.1.- IDENTIFICACIÓN DE USUARIOS

La siguiente lista, especifica las personas identificadas como posibles usuarios del biodigestor.

- Comunidades campesinas e indígenas que se surtirán de los productos de la granja.
- Personal técnico de la granja autosustentable.
- Visitantes y turistas de la granja.
- Estudiantes de la escuela granja.
- Instructores.

4.2.2.- VIAJES DE USUARIOS

Se realizó una visita al lugar donde se realizará el proyecto. En este viaje se obtuvo información acerca de las características del terreno, los principales usuarios, características ambientales, características de las instalaciones, dimensiones y espaciamento.

Por otra parte, se realizó una visita a la facultad de Agronomía de la U.C.V. en Maracay, Edo. Aragua para observar las instalaciones de biogás que funcionan actualmente en sus dependencias. De esta visita se pudo recopilar información acerca de los tipos de biodigestores, su funcionamiento, modo de operación, dimensiones, dispositivos e instrumentos de medición y condiciones de trabajo.



Fig. 4.1. Viaje de usuarios (Cinaruco)



Fig. 4.2. Viaje de usuarios (FAGRO U.C.V.)



4.2.3.- ESTUDIO DE CONDUCTAS DE USUARIOS

Una vez identificados los posibles usuarios del biodigestor, se procedió a elaborar un cuestionario basado en puntos de interés tales como: desempeño funcional, factores humanos, requerimientos físicos, confiabilidad, ciclo de vida y recursos disponibles. Este cuestionario general se subdividió en cuestionarios más específicos dirigidos a diferentes grupos de usuarios y miembros del equipo de diseño.

Las personas encuestadas fueron:

Arquitecto Andreina Giordani: Encargada del proyecto de la granja autosustentable.

Ingeniero Fabián Flores: Profesor de la E.I.M. U.C.V. con conocimientos en energías alternas y en diseño de biodigestores.

Grupo Agronomía UCV: Experimentado en el manejo y funcionamiento de biodigestores.

Grupo CISPI-MSDS: Integrado por arquitectos e ingenieros con conocimientos en materiales y construcciones rurales.

Ingeniero Francisco Pacheco: Especialista en energías alternas. U.L.A.

Otros integrantes del grupo CISPI: Representantes de diversos pueblos indígenas.

Dr. Iñigo Narbaiza: Conocimientos en granjas autosustentables. FUDECI.

Con las respuestas obtenidas se determinaron los requerimientos de los usuarios, algunas especificaciones de funcionamiento de los biodigestores y sugerencias por parte de los miembros del equipo de diseño relacionados con el tema de trabajo. Ver **anexos 7 a 13**.



Figura. 4.3. Visita a la comunidad indígena



Figura. 4.4. Estudio de conductas de usuarios



4.2.4.- REQUISITOS DE LOS USUARIOS

Existen buenas razones para dedicar cierto esfuerzo para establecer una especificación exacta del rendimiento en los primeros momentos del proceso de diseño. Inicialmente, esta especificación fija ciertos límites al “espacio de soluciones” dentro del cual el diseñador debe buscar. Posteriormente, en el proceso de diseño, la especificación del rendimiento puede utilizarse al evaluar las soluciones propuestas para verificar que queden dentro de límites aceptables ^[14].

Una vez obtenidas las respuestas de los cuestionarios aplicados, se elaboró una lista mostrando los atributos del equipo en un conjunto de necesidades de los usuarios.

Necesidades fisiológicas : Contribuir a la higiene de personas y animales, evitar la aparición de enfermedades, seguridad mecánica en el funcionamiento.

Necesidades sociales: Contribuir con el concepto de autosustentabilidad del proyecto, involucrar a las comunidades beneficiadas en el aprovechamiento de los desechos orgánicos para evitar la contaminación ambiental y promover la producción de energía.

Necesidades técnicas: Dimensiones, capacidad de carga, velocidad de funcionamiento, confiabilidad, vida útil, mantenimiento, producción de biogás, producción de bioabono.

Recursos invertidos: Los materiales utilizados para fabricar el biodigestor deben ser de fácil obtención en la región para evitar incremento en el costo de fabricación o de transporte.

4.3.- Investigación ergonómica

Por lo general, es muy eficaz examinar las condiciones laborales de cada caso al aplicar los principios de la ergonomía para resolver o evitar problemas. En



ocasiones, cambios ergonómicos, por pequeños que sean, del diseño del equipo, del puesto de trabajo o las tareas pueden mejorar considerablemente la comodidad, la salud, la seguridad y la productividad del trabajador.

El personal encargado de la operación del biodigestor será el personal de trabajo de la granja. Por lo tanto, se realizarán actividades de supervisión visual y control de los parámetros de funcionamiento mediante el levantamiento y transporte de cargas pesadas.

4.3.1.- LEVANTAMIENTO Y TRANSPORTE DE CARGA

Puntos que hay que recordar acerca del trabajo físico pesado ^[15]

- Siempre que sea posible, utilícese energía mecánica en lugar de efectuar el trabajo pesado. Los trabajadores deben poder utilizar máquinas para efectuar las tareas más arduas, no para sustituir a los trabajadores.
- El trabajo pesado debe alternar con trabajo más ligero a lo largo de la jornada.
- La tarea debe permitir períodos de descanso.
- Hay que considerar factores ergonómicos, como el peso y la forma de la carga o la frecuencia con que el trabajador debe levantar la carga, cuando se diseñen las tareas que comporten un trabajo físico pesado.
- Otras recomendaciones ergonómicas son: disminuir el peso de la carga, hacer que la carga sea más fácil de manipular; utilizar las técnicas de almacenamiento para facilitar la manipulación; disminuir la distancia que debe recorrer una carga; disminuir todo lo posible el número de levantamientos y disminuir en la medida de lo posible los giros que debe efectuar el cuerpo.



Distintas técnicas permiten cargar peso con menor riesgo para la espalda. En todo caso, se debe transportar el peso cerca del cuerpo y levantar los pesos tan solo hasta la altura del pecho.

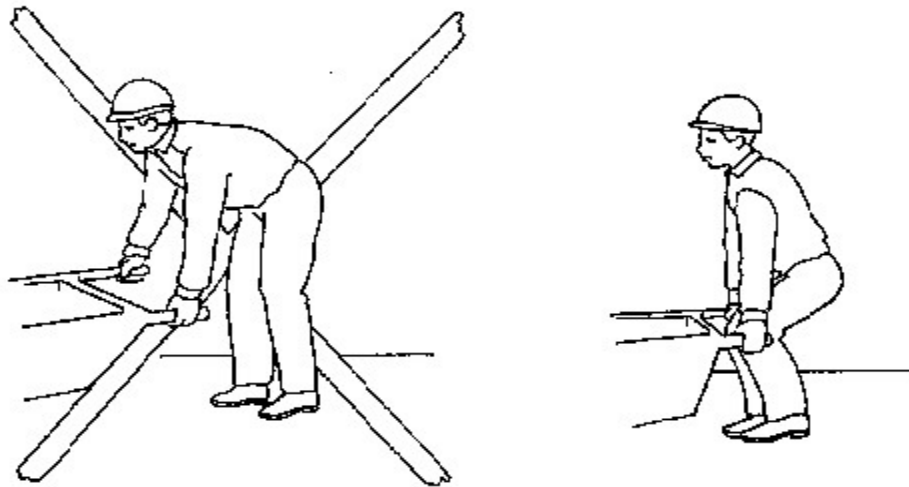


Figura. 4.5. Posición de la espalda y del cuerpo

El objeto debe levantarse cerca del cuerpo, pues de otro modo los músculos de la espalda y los ligamentos están sometidos a tensión, y aumenta la presión de los discos intervertebrales.

Deben tensarse los músculos del estómago y de la espalda, de manera que ésta permanezca en la misma posición durante toda la operación de levantamiento.

Se debe acercarse al objeto lo más posible para tener mayor seguridad de levantarlo y separar los pies, para mantener un buen equilibrio.

Tratar de agarrar firmemente el objeto, utilizando totalmente ambas manos, en ángulo recto con los hombros. Empleando sólo los dedos no se podrá agarrar el objeto con firmeza.

Proceder a levantarlo con ambas manos, si es posible.

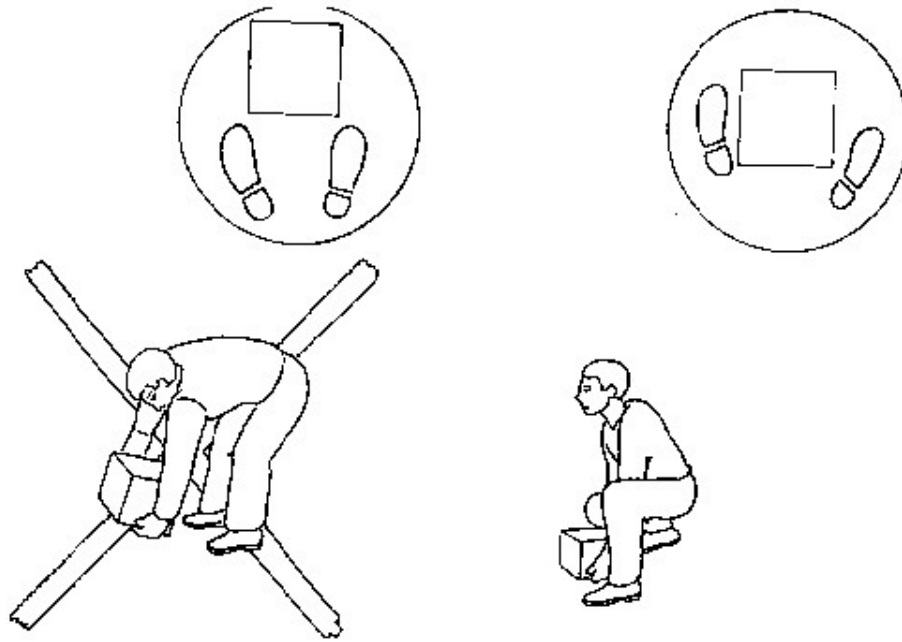


Figura 4.6. Posición de las piernas

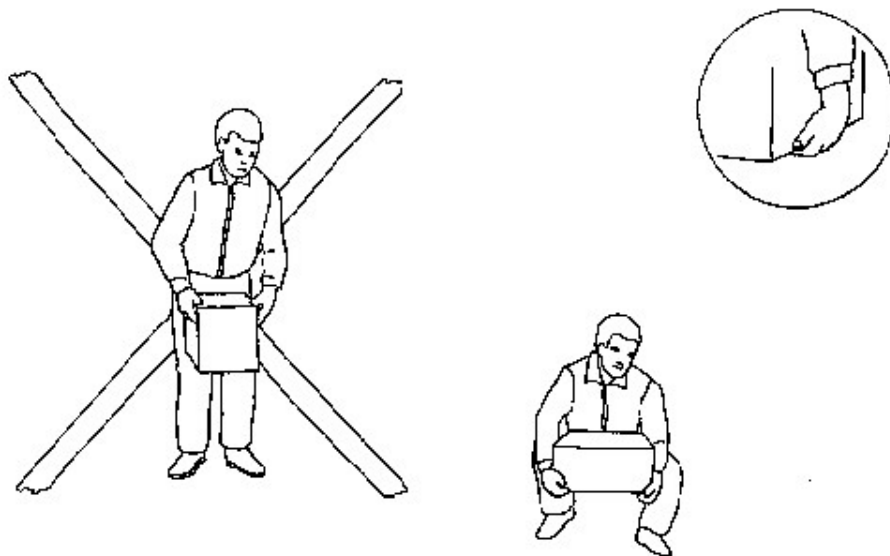


Figura 4.7. Posición de los brazos y sujeción

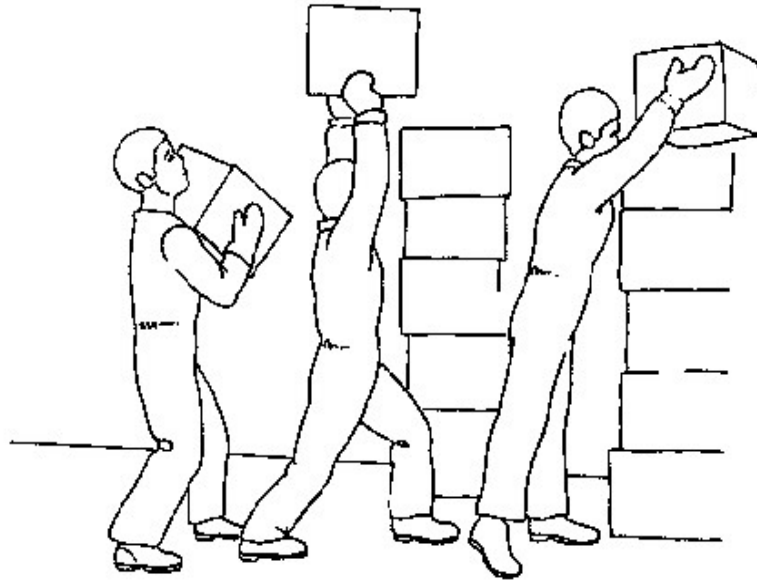


Figura. 4.8. Levantamiento por encima de los hombros

Si se tiene que levantar algo por encima de los hombros, colocar los pies en posición de andar. Levantar primero el objeto hasta la altura del pecho. Luego, comenzar a elevarlo separando los pies para poder moverlo, desplazando el peso del cuerpo sobre el pie delantero.

La altura del levantamiento adecuada para muchas personas es de 70-80 centímetros. Levantar algo del suelo puede requerir el triple de esfuerzo.



Figura. 4.9. Levantamiento con otros



Las personas que a menudo levantan cosas conjuntamente deben tener una fuerza equiparable y practicar colectivamente ese ejercicio. Los movimientos de alzado han de realizarse al mismo tiempo y a la misma velocidad.

Los pesos máximos recomendados por la Organización Internacional del Trabajo son los siguientes:

Hombres: ocasionalmente 55 Kg., repetidamente 35 Kg.

Mujeres: .ocasionalmente 30 Kg., repetidamente 20 Kg.

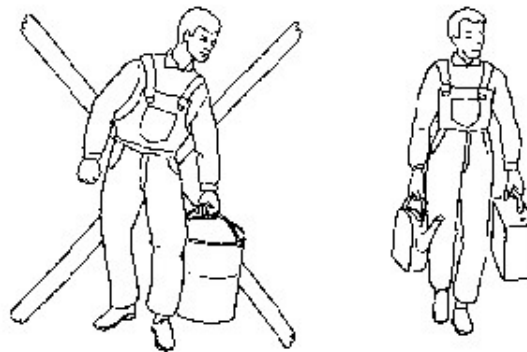


Figura. 4.10. Porte

Las operaciones de porte repercuten sobre todo en la parte posterior del cuello y en los miembros superiores, en el corazón y en la circulación. Llevar los objetos cerca del cuerpo. De esta manera, se requiere un esfuerzo mínimo para mantener el equilibrio y portar el objeto. Los objetos redondos se manejan con dificultad, porque el peso está separado del cuerpo. Cuando se dispone de buenos asideros, se trabaja más fácilmente y con mayor seguridad. Distribuir el peso por igual entre ambas manos.



4.3.2.- INSPECCIÓN VISUAL

A la hora de ubicar los instrumentos de medición se debe tomar en cuenta las características fisionómicas de las personas promedio. Garantizando de esta manera un esfuerzo mínimo del usuario y una correcta lectura de los datos.

Los instrumentos deben ser colocados en un lugar de fácil acceso para el individuo de manera que se garantice que existe un rango visual máximo de 75cm. entre los mismos. Igualmente, según los valores de la **tabla 4.1**, la altura óptima de colocación de los instrumentos no debe ser mayor de 1,74m.

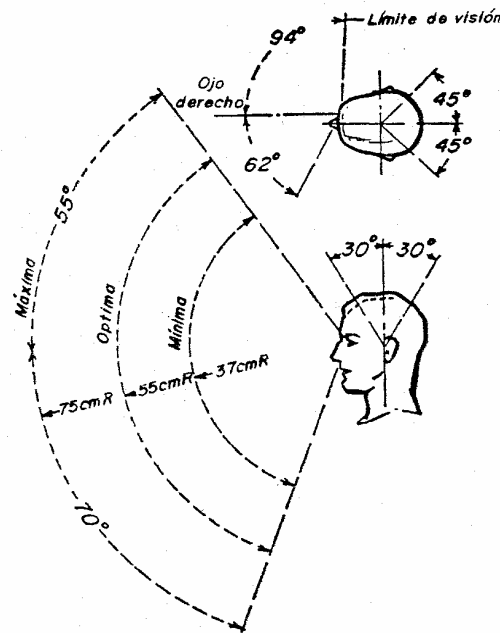


Figura. 4.11. Áreas visuales efectivas ^[16]

4.4.- Desarrollo de especificaciones

Mediante el desarrollo de especificaciones de rendimiento, se puede lograr una mayor definición del problema de diseño, permitiendo tener un campo mas definido de maniobra para llegar a una solución satisfactoria. Estas



especificaciones miden el rendimiento requerido y no la solución o producto para lograrlo.

Para realizar el desarrollo de las especificaciones, se determinaron los atributos deseados en la solución y se establecieron requerimientos de rendimiento para cada uno llevándolos de ser posible a parámetros ingenieriles. Ver **anexo 14**

Edad	Estatura (cm.)		Peso (Kg.)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
3	96	3,3	14,5	1,4
6	117,1	5,3	21,3	2,7
9	134,1	6,1	29,9	3,6
12	148,1	7,3	39,5	5,4
15	168,4	7,9	58,1	7,3
18	174	6,6	67,6	9
22	174,5	6,6	71,7	10,4
26	174,5	6,6	73,9	10,9
30	174	6,6	74,8	11,3
34	174	6,6	74,8	11,3
38	173,7	6,6	75,3	11,3
48	172,7	6,6	75,8	11,3
58	171	6,6	74,8	11,3
68	169,7	6,1	73,5	10,9
78	169	5,6	71,2	10,9

Tabla 4.1. Estatura y peso de hombre promedio ^[16].



CAPITULO 5

Generación y selección de conceptos solución

5.1.- Introducción

En el siguiente capítulo, se muestran las técnicas creativas utilizadas para la generación de posibles soluciones al problema planteado. Para ello, se tomaron en cuenta los parámetros de funcionamiento del proceso de descomposición anaerobia y los requerimientos de los usuarios. Una vez que se han propuesto las soluciones, se procede a evaluarlas y seleccionar aquella que cumplió con la mayoría de los criterios de selección establecidos.



5.2.- Desarrollo de conceptos solución

Se utilizó la técnica de la tormenta de ideas para generar la mayor cantidad posible de propuestas. Para ello, se estudió la definición del problema y se procedió a realizar tormentas de ideas individuales por parte de los miembros del equipo de diseño y personas ajenas al equipo familiarizados con el área del problema. Ver **anexos 16 a 20**.

5.3.-Descomposición funcional

Para ampliar la búsqueda de soluciones, y tratar de llegar a nuevas soluciones que no se habían identificado anteriormente, se realizó una lista especificando las características que determinamos como esenciales para la solución final. Estas características se muestran en la lista a continuación.

Captar los desechos.

Mezclar los desechos.

Garantizar la retención de los desechos para su descomposición.

Almacenar el biogás.

Extraer los productos de la fermentación del biodigestor.

Extraer el biogás.

Una vez realizada esta lista, se plantearon diferentes medios por los cuales cada característica o función podía realizarse. La siguiente tabla muestra el arreglo de todas las funciones con sus respectivos medios posibles



	Función	1	2	3	4
A	Captar los desechos	Por ductos	Boca de entrada	Ambas	
B	Mezclar los desechos	Agitador afuera	Agitador adentro	Sin agitador	Otro
C	Cámara de retención	Tanque hermético	Aire libre		
D	Almacenar gas	Aparte (gasómetro)	En el mismo contenedor	comprimirlo	
E	Extraer los productos	Manualmente	Ducto de salida natural	Por caída libre	Mecánicamente
F	Extraer Biogás	Naturalmente	Aplicar presión al recipiente		

Tabla 5.1. Descomposición funcional

Una vez realizada la descomposición funcional, se identificaron las combinaciones factibles de soluciones secundarias para el conjunto de funciones especificado. Las combinaciones elegidas fueron las siguientes:

Combinación A:

Captar los desechos por ductos y por boca de entrada.

Mezclar los desechos incluyendo un agitador interno al digestor.

Retener los desechos en un recipiente hermético.

Almacenar el gas en el mismo contenedor.

Extraer los productos del digestor por un ducto de salida natural.

Extraer el biogás naturalmente.



Combinación B:

- Captar los desechos por ductos y por boca de entrada.
- No utilizar agitador.
- Retener los desechos en un recipiente hermético.
- Almacenar el gas en un contenedor aparte.
- Extraer los productos del digestor manualmente.
- Extraer el biogás naturalmente.

Combinación C:

- Captar los desechos por ductos y por boca de entrada.
- Mezclar los desechos incluyendo un agitador interno al digestor.
- Retener los desechos en un recipiente hermético.
- Almacenar el gas en el mismo contenedor.
- Extraer los productos del digestor por caída libre.
- Extraer el biogás naturalmente.

Combinación D:

- Captar los desechos por ductos y por boca de entrada.
- No utilizar agitador.
- Retener los desechos en un recipiente hermético.
- Almacenar el gas en un contenedor aparte.
- Extraer los productos del digestor por un ducto de salida natural.
- Extraer el biogás naturalmente.

Estas listas de combinación de funciones, se utilizaron como una primera evaluación para los conceptos solución propuestos en las tormentas de ideas. Luego de esto se obtuvieron 8 posibles conceptos solución con el fin de elegir el diseño que mejor se ajustara a nuestras necesidades. Ver **anexos 15 a 19**



5.4.- Criterios para la selección

Los parámetros de selección para los conceptos solución son el punto de partida para la elección final de la solución. Debido a esto deben ser bien definidos para evitar confusiones en el momento de la evaluación. Estos parámetros se detallan a continuación estableciendo un valor ponderado de acuerdo a su importancia del 1 al 10.

	Criterios	Valor
A	Económicos	10
B	Medio Ambiente	10
C	Fácil Manipulación	7
D	Aprovechamiento energético	8
E	Entrada de los productos	5
F	Captación de los productos	6
G	Dimensionamiento	6
H	Construcción	8

Tabla 5.2. Criterios para la selección

5.5.- Escala de evaluación

Para la evaluación eficiente de los parámetros de selección, se utilizó una escala de una forma neutral y objetiva con el fin de escoger la opción más razonable. Esta escala plantea los siguientes niveles de estimación.



Excelente	5
Muy Bueno	4
Bueno	3
Aceptable	2
Deficiente	1

Tabla 5.3. Escala de evaluación

5.6.- Matriz de selección

Aplicando los criterios para cada concepto solución y ponderándolo de acuerdo a la escala de evaluación anteriormente descrita, se evaluaron las propuestas de una manera objetiva, lógica y neutral, con el fin de elegir el diseño que reuniera las características que mejor se ajustaran a nuestras necesidades.

Factores	1		2		3		4		5		6		7		8	
	A	4	40	4	40	2	20	2	20	1	10	3	30	3	30	2
B	5	50	5	50	4	40	5	50	5	50	5	50	5	50	5	50
C	3	21	5	35	2	14	3	21	2	14	4	28	3	21	4	28
D	4	32	4	32	3	24	4	32	4	32	4	32	5	40	4	32
E	3	15	4	20	3	15	5	25	4	20	3	15	4	20	4	20
F	4	24	5	30	3	18	3	18	3	18	5	30	3	18	4	24
G	2	12	5	30	1	6	2	12	2	12	3	18	3	18	2	12
H	2	16	4	32	1	8	2	16	1	8	2	16	2	16	2	16
		210		269		145		194		164		219		213		202

Tabla 5.4. Matriz de selección

Los resultados cuantitativos que arroja la matriz de selección indican que la mejor solución para el problema planteado es la combinación de un sistema



continuo y uno discontinuo. El biodigestor continuo será un “Modelo Chino” y el biodigestor discontinuo será un “Tipo Batch”. Esta solución garantiza facilidad de manipulación y construcción, además de ser la opción más económica con respecto a las otras.

5.7.- Transporte de los desechos

De acuerdo con las características del proyecto granja autosustentable, los residuos drenados serán transportados mediante tuberías subterráneas y los desechos sólidos serán acumulados en un compostero.

La solución planteada para el transporte de los desechos hacia el biodigestor, será utilizar tanto las tuberías subterráneas para la alimentación directa, como el compostero para su alimentación manual.



CAPITULO 6

Desarrollo de la solución

6.1.- Introducción

Luego de generar y seleccionar los conceptos solución para el problema planteado, se hace el desarrollo de la propuesta final. Para esto, se realiza la selección del material, y se calculan los parámetros de operación del biodigestor.

6.2.-Selección de materiales para el biodigestor Chino

El material es un punto muy importante que hay que tomar en cuenta en el diseño del biodigestor, analizando según nuestros criterios las alternativas de materiales de fácil adquisición en la localidad, de bajos costos, que no interfieran con el proceso anaeróbico, y de mejor adaptabilidad a las características de los modelos propuestos. Así como otras propiedades que se deben considerar para



optimizar el diseño final. Es por ello que se realiza una matriz de selección para definirlos.

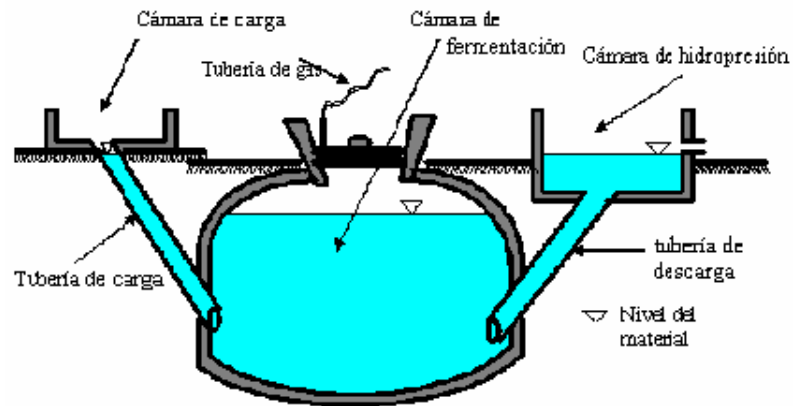


Figura. 6.1. Vista en sección de un biodigestor continuo “Modelo Chino”

Descomposición funcional

Para ampliar la búsqueda de soluciones, y tratar de llegar a propuestas de materiales que satisfagan nuestras especificaciones y necesidades, se realizó una lista detallando las características que determinamos como esenciales para la solución final. Estas características se muestran en la lista a continuación.

Captar los desechos (Cámara de carga)

Descarga de los productos (Cámara de hidropresión)

Garantizar la retención de los desechos para su descomposición (Cámara de fermentación)

Conducir la materia prima y los productos de la descomposición (Tuberías de carga y descarga)

Conducir el biogás desde el biodigestor hasta su almacén o puntos de consumo.

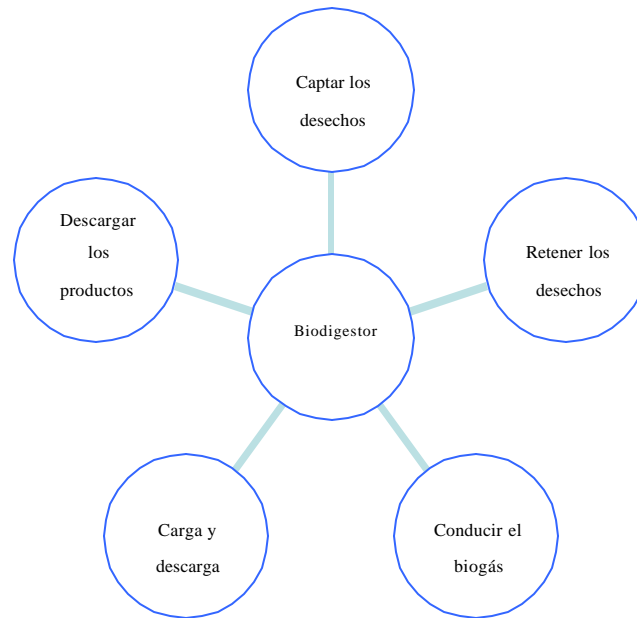


Fig. 6.2. Descomposición funcional

6.2.1.- CÁMARA DE FERMENTACIÓN

Este sistema será el encargado de almacenar la producción diaria de desechos de la granja. Su condición de carga esta basada en una alta dilución, la cual esta relacionada con la excreta (en volumen 3 a 5 veces agua/excreta). Debe tener la capacidad de mantener su contenido sin permitir escapes de líquido o gas y evitar interferir en el proceso de descomposición anaeróbica.

Alternativas de materiales para la cámara de fermentación

Las alternativas estudiadas de materiales para la construcción de la cámara de fermentación fueron las siguientes:

Bloques de concreto y concreto armado: Es una combinación de materiales ampliamente conocida y utilizada en la construcción. Debido a esto se puede utilizar en diversas aplicaciones ya que no necesita de mano de obra especializada.

Sus principales ventajas son:



Fácil adquisición en el mercado local.

Fácil utilización con la ayuda de mano de obra medianamente especializada.

Durabilidad y resistencia.

Permite adaptabilidad a la forma deseada para la forma final del biodigestor.

Se mantiene inerte y no afecta el proceso de descomposición anaeróbica.

Acero: El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Es un material ampliamente utilizado en el diseño de ingeniería principalmente como material estructural. Su utilización implica solicitar la construcción de la cámara a mano de obra especializada.

Sus principales ventajas son:

Alta resistencia.

Uniformidad.

Durabilidad.

Rapidez de montaje.

Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.

Sus principales desventajas:

La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire

Costos de mantenimiento debido a la corrosión.

Plástico: Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia /densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Para la utilización de este material para la construcción de la cámara será necesario utilizar un recipiente prefabricado de adquisición en el mercado local o determinar las dimensiones y forma deseada y solicitar su elaboración a expertos en el área

Sus ventajas son:



Alta resistencia y durabilidad

Adaptabilidad a las formas deseadas.

Liviano, lo que facilita su porte y aplicación

Resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos y roedores

Impermeable a gases y líquidos

Versátil y ambientalmente correcto

Fabricado con bajo consumo de energía.

Criterios para la selección del material

Los parámetros de selección para las opciones de materiales son el punto inicial para la elección final, por lo cual deben ser bien definidos para evitar confusiones en el momento de la evaluación. Estos parámetros se detallan a continuación estableciendo un valor ponderado de acuerdo a su importancia del 1 al 10.

	Criterios	Valor
A	Fácil adquisición	9
B	Bajo costo	8
C	No interferencia	10
D	Adaptabilidad	7
E	Durabilidad	8
F	Apariencia	4

Tabla 6.1 Criterios para la selección de material

Matriz de selección del material

Fueron estudiados los aspectos anteriores para cada uno de los materiales propuestos, ponderándolos de acuerdo a la **tabla 5.3** para garantizar la selección del material más acorde con nuestros requerimientos.

Criterios	Plástico	Concreto	Acero
-----------	----------	----------	-------



A	3	27	4	36	3	27
B	2	16	5	40	3	24
C	5	50	5	50	1	10
D	5	35	3	21	4	28
E	4	32	5	40	3	24
F	3	12	3	12	3	12
		172		199		125

Tabla 6.2. Matriz de selección de materiales

Los resultados cuantitativos que arroja la matriz de selección indican que la mejor solución para los materiales de la cámara de fermentación es la utilización de concreto armado y bloques de concreto, debido a que es la opción que satisface la mayoría de nuestros criterios de selección.

6.2.2.- CÁMARAS DE CARGA Y DESCARGA

La cámara de carga es la encargada de recoger los desechos que serán introducidos al biodigestor de manera directa.

La cámara de descarga es un tanque almacenador de líquido fermentante en la cual se genera una presión de diseño con cierta cota de altura.

Una vez realizados los análisis anteriores para los materiales del sistema de homogenización, realizando el mismo procedimiento, se determina que los materiales para construir las cámaras de carga y descarga deben ser los mismos utilizados para el sistema de fermentación. Es decir, concreto armado y bloques de concreto, debido a que estos sistemas estarán sometidos a las mismas condiciones de trabajo que la cámara de fermentación.



6.2.3.- TUBERÍAS DE CARGA Y DESCARGA

Será el encargado de conducir las aguas servidas desde la cámara de carga hasta la cámara de homogenización y el material digerido desde el biodigestor hacia la cámara de hidropresión.

Alternativas de materiales para las tuberías

Las alternativas de materiales estudiadas para las tuberías fueron las siguientes:

Plomo: Las tuberías de plomo son bastante blandas. Se pueden cortar fácilmente con sierras para metales o serruchos comunes.

- **Hierro:** Han sustituido a las de plomo, sobre todo en instalaciones de agua caliente. Son bastante duras y, por lo tanto, difíciles de manipular. Se pueden cortar con sierras para metales.

- **Cobre:** Se trata del material más usado actualmente. Son tuberías resistentes y maleables. Se pueden cortar con sierras de dientes finos o con un corta-cobre. Existen todo tipo de complementos para estas tuberías: racores, dispositivos en forma de T o L.

- **PVC:** El PVC es un plástico derivado de la sal (57%) y del petróleo (43%) y posee innumerables aplicaciones involucrando una serie de productos, tales como embalajes, alambres y cables, mangueras, perfiles de ventanas y laminados, calzados, juguetes, tubos y conexiones, etc.

El principal mercado es de tubos y conexiones usados en la construcción civil distribución de agua potable y saneamiento básico. Esta posición de destaque en tubulaciones transcurre de la prolongada vida útil del PVC, que en esos casos va de 50 a 100 años.

Las aplicaciones alcanzan tubos y conexiones utilizados en la canalización de agua y alcantarillado, pues son resistentes y fácilmente transportados y manipulados gracias a su bajo peso; el PVC rígido es el material adecuado para el transporte de agua, pues evita contaminaciones externas y previene pérdidas por



filtración. El PVC ocupa lugar de relieve en el saneamiento y riego, en aplicaciones tales como:

Saneamiento:

Redes de distribución de agua potable domiciliarias y públicas.

Sistemas de saneamiento básico (colectores de defectos).

Redes de drenaje de las aguas pluviales.

Riego:

Redes de riego subterráneo y de superficie.

Tubulaciones y filtros para pozos profundos.

Redes de drenaje agrícola y de autopistas.

Criterios para la selección

Los criterios para la evaluación de los ductos son definidos con claridad para asegurar que la elección sea aquella que satisfaga en su mayoría nuestros requerimientos. De igual manera que para la cámara de homogenización los aspectos de importancia fueron la fácil adquisición local, el tiempo de vida, la capacidad de no interferir con el proceso y los costos. Se realizó una tabla para ponderar los aspectos de acuerdo a su importancia.

	Criterios	Valor
A	Fácil adquisición	9
B	Bajo costo	8
C	No interferencia	10
D	Durabilidad	8

Tabla 6.3. Criterios para la selección de los ductos



Matriz de evaluación

Fueron estudiados los aspectos anteriores para cada uno de los materiales propuestos, ponderándolos de acuerdo a la **tabla 5.3** para garantizar la selección del material más acorde con nuestros requerimientos.

Criterios	Hierro		Plástico		Cobre	
	A	4	36	4	36	2
B	3	24	5	40	2	16
C	2	20	5	50	4	40
D	3	24	5	40	4	32
		104		166		106

Tabla 6.4. Matriz evaluación para la tubería

Los resultados de la matriz de evaluación para la selección de los ductos indican que la alternativa que cumple con la mayoría de nuestros requerimientos es la utilización de tubería de PVC.

6.3.- Selección de materiales para el biodigestor tipo Batch

El biodigestor discontinuo o modelo batch, tiene un funcionamiento de “todo adentro todo afuera”. Debido a esto, no posee una cámara de carga o una cámara de descarga, sino que la materia orgánica se coloca en el interior de la estructura y es mantenida en la misma acorde al tiempo de retención o degradación necesario.

Descomposición funcional

Garantizar la retención de los desechos para su descomposición (Cámara de fermentación).

Aislar el contenido del medio ambiente (Cúpula).

Conducir el biogás desde el biodigestor hasta su almacén o puntos de consumo.



Descargar el agua.

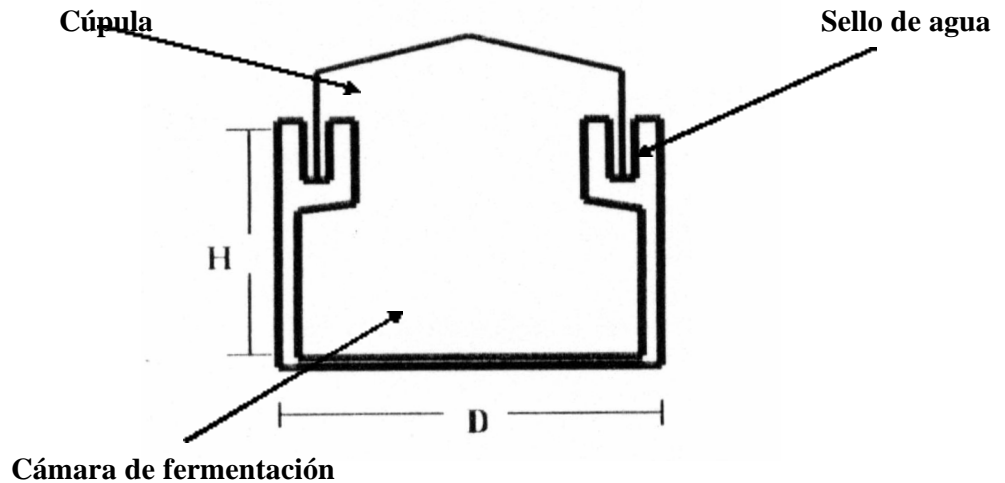


Fig. 6.3. Vista en sección de un biodigestor discontinuo “Tipo Batch”

6.3.1.- CÁMARA DE FERMENTACIÓN

Tiene la finalidad de contener los desechos y retenerlos durante el tiempo necesario para su completa descomposición. Debido a esto las características constructivas son las mismas que las de la cámara del biodigestor continuo. Es por ello que se seleccionan los mismos materiales para su construcción. Es decir, bloques de concreto y concreto armado en obra limpia.

6.3.2.- CÚPULA O TAPA

Es la encargada de aislar el material fermentante del exterior, almacenar una parte del biogás producido y evitar el escape del mismo mediante la utilización de un sello de agua. Esta es una cúpula fija durante el proceso anaeróbico que será removida solo en los momentos de carga y descarga del biodigestor.

Alternativas para el material de la cúpula



Las alternativas estudiadas fueron las siguientes:

Fibra de vidrio

Acero

Plástico

Criterios

Los criterios para su selección fueron la durabilidad, facilidad de adquisición, el peso, costo, resistencia a la intemperie y capacidad de no interferir con el proceso. Se realizó una tabla para ponderar los aspectos de acuerdo a su importancia.

	Criterios	Valor
A	Fácil adquisición	9
B	Bajo costo	8
C	Peso	6
D	No interferencia	10
E	Durabilidad	8

Tabla 6.5. Criterios para la selección del material de la cúpula del digestor Batch.

Matriz de evaluación

Fueron estudiados los aspectos anteriores para cada uno de los materiales propuestos, ponderándolos de acuerdo a la **tabla 5.3** para garantizar la selección del material más acorde con nuestros requerimientos.



Criterios	Fibra vidrio		Plástico		Acero inoxidable	
A	2	18	3	27	3	27
B	2	16	2	16	3	24
C	4	24	4	24	3	18
D	4	40	4	40	4	40
E	3	24	4	32	4	32
		122		139		141

Tabla 6.6. Matriz evaluación para la cúpula

Los resultados de la matriz de evaluación para la selección de la cúpula indican que la alternativa que cumple con la mayoría de nuestros requerimientos es la utilización acero inoxidable.

6.4.- Almacenamiento de biogás

El biogás generado en los digestores, puede ser consumido en la medida que se produce, pero, como el proceso no se paraliza, en los momentos en que no se esta haciendo uso del mismo, si no se almacena podría perderse por los dispositivos de seguridad, evitando sobrepresiones.

Las formas de almacenamiento, son: la criogenia, la alta presión, la adsorción, y la baja presión.

La Criogenia^[7]: Se refiere a cuando el gas es comprimido y enfriado simultáneamente, a fin de licuarlo. Desde el punto de vista del máximo aprovechamiento esta sería la condición mas favorable, y se hace para el gas domestico (mezcla de propano butano), que requiere alrededor de 8 atmósferas de presión. En el caso del biogás, la situación no es tan accesible, los requerimientos de presión y/o de disminución de la temperatura son excesivos, ocasionando un gasto energético y unos requerimientos de maquinaria que lo hacen inaccesible.



La alta presión^[17]: Significa que el biogás, es introducido en cilindros en un estado gaseoso pero a presiones de 70 atmósferas implicando que en la construcción de estos cilindros, debe usarse aceros de mucho espesor.

La adsorción^[17]: Representa actualmente el procedimiento de mayor perspectiva, y se realiza, purificando el biogás, eliminándole el CO₂ y otras impurezas, posteriormente es comprimido a medianas presiones (aproximadamente 15 atmósferas) e introducido en cilindros que tienen en su interior un material poroso conocido como carbono activado. El gas se fija en las paredes de los microconductos, aprovechando el aumento de la superficie específica que le ofrece el medio, lográndose almacenar varias veces el volumen geométrico del cilindro usado.

La baja presión^[17]: Este es el sistema más apropiado para el medio rural, y consiste en confinar el biogás con una estructura que puede ser de cualquier material, en forma de cilindro, la cual tiene uno de sus extremos abiertos, ver **fig. 6.4**, introducido en el tanque de agua. La presión del sistema, se convierte en una relación de empuje, es decir el peso de la campana (mas peso que se le coloca sobre la misma), entre el área de la campana.

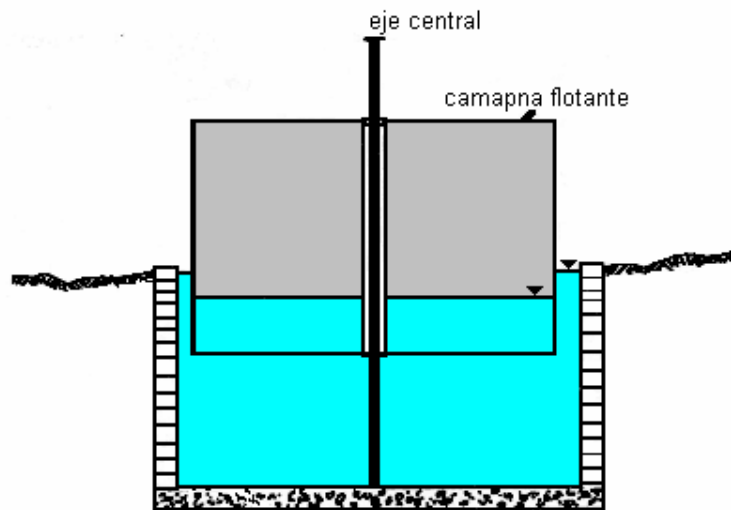


Fig. 6.4. Corte transversal de un almacenador de biogás o “Gasómetro”



6.5.- Conducción de gas^[17]

El biogás, se conduce a los puntos de consumo en baja presión, los sistemas de generación y/o almacenamiento del mismo precisan la presión inicial del gas a ser conducido. Las máximas presiones que se derivan de este hecho son aproximadamente 50 cm. c.a., y las mínimas son cercanas a 0cm. c.a.

Cuando el sistema dispone de un gasómetro, el cálculo de la red se simplifica en el sentido de que la presión inicial es fija aunque se presenta la coyuntura de que por lo general son bajas, por lo que la pérdida de carga admisible debe tener valores cercanos a cero. En el caso de los digestores chinos, la problemática es que la presión no es constante y que una parte del volumen del gas estará sujeto a elevadas presiones, que favorecen su conducción pero otra parte del gas estará a presiones inferiores que la que un gasómetro genera.

6.6.- Instrumentación y equipos

Trampa de agua: Favorece la evacuación del agua que se acumula en las tuberías producto del vapor de agua que se genera del proceso metanogénico, manteniéndose el diámetro de la tubería sin obstrucción al flujo. La ubicación de las trampas va acorde a la topografía, al hacer un transito de la red se colocaran trampas en todos los puntos bajos de la misma.

Medidores de presión: Existen dos tipos de manómetros diferenciales de construcción rural, uno es el manómetro de dos ramas, que se construye haciéndole a una manguera plástica una curvatura en forma de “u”, con una línea de presión cero transversal a la misma y dos escalas centimetradas ascendentes y descendentes, la presión será la suma de ambas.

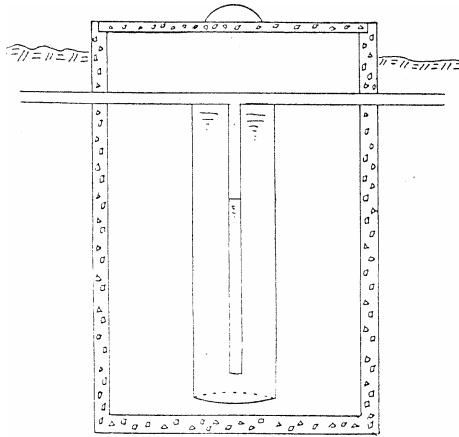


Fig. 6.5. Detalle trampa de agua.

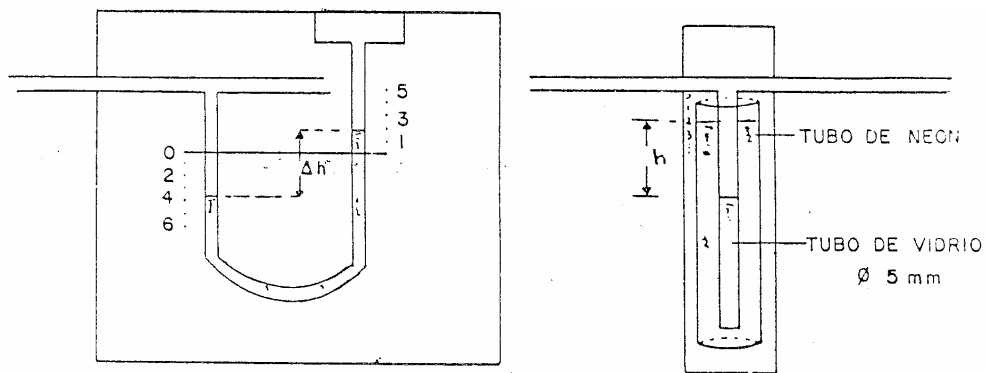


Fig. 6.6. (a) y (b). Manómetros de dos ramas y lectura directa

El otro tipo es el de lectura directa, se construye utilizando una “T” de vidrio, introducida en un tubo de cristal para lo cual un neón previamente limpiado es lo indicado, la lectura es directa en el nivel del líquido dentro de la “T” en relación al nivel del líquido en el tubo de neón, todo el conjunto se coloca en una caja rectangular para protegerlo.

Otros de los manómetros usados son los manómetros diferenciales de uso comercial los cuales dan una lectura directa de gran precisión.

Se usarán termómetros para tomar las temperaturas dentro del digestor, garantizando así que estos funcionen dentro de los rangos adecuados.



CAPÍTULO 7

Cálculos y manuales

7.1.- Introducción

En el siguiente capítulo se realizarán todos los cálculos necesarios para determinar las características dimensionales y operacionales de los biodigestores y el gasómetro. De igual manera se explican los manuales de operación, instalación y mantenimiento de los equipos.

7.2.- Biodigestor modelo Chino

Cálculo del volumen

La siguiente lista, enumera los tipos y cantidades de animales existentes en la granja:

- Cerdos: 35 a 40 animales



- Chigüires: 15 a 20 animales
- Patos: 20 a 30 animales
- Ganado: 25 a 30 animales
- Caballos: 10 a 12 animales

También se encontraran otros tipos de animales como: ovejos, morrocoyes, y cabras

Tomando en cuenta que la disposición de los animales será en corrales de piso de concreto o tierra y otros en espacios abiertos, se tomará para el biodigestor chino las excretas de los animales que contarán con un piso de concreto y necesitarán de una limpieza diaria, los cuales son los cochinos los patos y los chigüires.

El volumen de la cámara de fermentación del biodigestor, se calcula siguiendo los datos obtenidos en la Facultad de Agronomía U.C.V. del gasto de agua por animal, el cual es de 40 litros por animal por día. Igualmente se estima un tiempo de retención hidráulico óptimo de 5 días.

De esta manera se tiene $V_t = 75 \text{ animales} \times 40 \text{ litros} \times 5 \text{ días}$

$$V_t = 15\text{m}^3$$

Calculo del diámetro

El diámetro del digestor se calcula manteniendo una relación con el volumen definido en base a razones estructurales por el instituto de investigación en biogás de Chendú Republica Popular De China, la cual se representa a continuación:

$$\text{Diámetro} = 10^{((\text{LOG}_{10} (V_t * 1,648995)) / 3)} \quad [17]$$

Después de obtenido el diámetro, se procede a determinar las dimensiones de las tres partes que conforman la estructura, las cuales son:



- La cúpula.
- El cilindro o cuerpo de fermentación.
- El piso cóncavo.

Un desglosamiento de esta estructura es como se aprecia a continuación

figura. 7.1

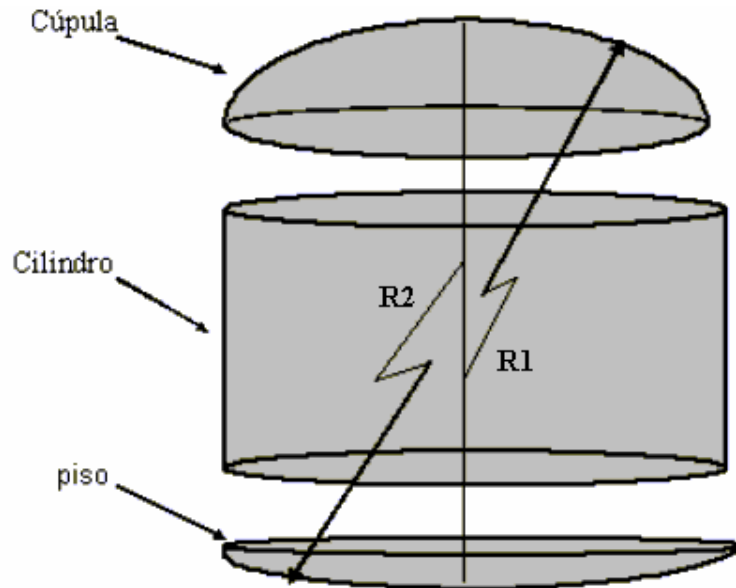


Figura. 7.1. Partes conformantes de un Biodigestor “Modelo Chino”

Luego se procede al cálculo de la superficie y radios de curvatura de la estructura, basándose en ciertas relaciones con el diámetro

CUPULA

$$f_1 = 1/5 D$$

PISO

$$f_2 = 1/8 D$$

Luego se procede a calcular los radios de curvatura (R1 y R2), que permiten obtener las superficies de obra y los controles durante la construcción de la obra.

Los radios de curvatura de la cúpula y el piso son:

CUPULA

PISO



$$R1 = \frac{r^2 + f1^2}{2 * f1}$$

$$R2 = \frac{r^2 + f2^2}{2 * f2}$$

Calculo de los volúmenes fermentativos

El volumen total (V_t) es el requerido para satisfacer las necesidades

La producción de gas estimada es $0,2\text{m}^3$ biogás/ m^3 estructura por día

Volumen Vacío Inicial (V.V.I.)

$$V.V.I. = 2,5\% V_t \quad 0,025 V_t$$

Volumen de gas a almacenar diario V'_2 (50% de la prod. estimada)

$$V'_2 = 0,5 * 0,2 * V_t$$

El volumen de gas almacenado total (V_2) = $V_1 + V'_2$

Los volúmenes internos en la estructura del cuerpo del digestor son:

Cúpula.

$$V_{cup} = p * f_1^2 * (R_1 - f_1/3)$$

Concavidad del piso

$$V_{piso} = p * f_2^2 * (R_2 - f_2/3)$$

Cilindro

$$V_{cil} = \frac{p * D^2 * H_o}{4}$$

La altura H_o no se conoce pero se consigue despejando el V_{cil} del volumen total.

$$V_t = V_{cup} + V_{piso} + V_{cil}$$



Una vez calculado los volúmenes, se procede a determinar las alturas que el material fermentante alcanza en el interior del digestor, producto de la acumulación del gas, para poder calcular la cámara de hidropresion, y la altura de alivio para mantener la presión de diseño. Esto se basa en que al comenzar el proceso fermentativo, o después que se haya consumido la totalidad del gas almacenado, la presión es cero. En la **figura. 7.2** se aprecia la interacción entre la presión del sistema y los niveles de material fermentante en el cuerpo del digestor. La importancia de conocer estos detalles de operación radica en la influencia que estos tienen en el diseño y la posibilidad de máximo aprovechamiento del sistema.

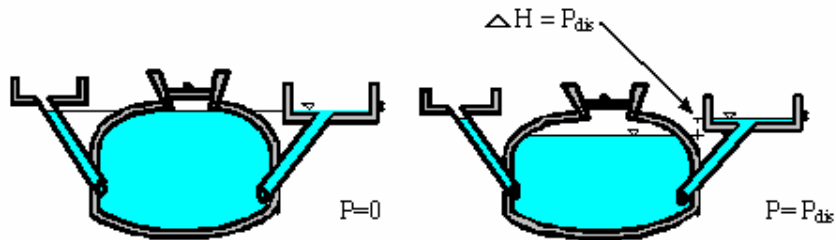


Figura. 7.2. Cotas del Material fermentante al inicio (Presión = 0 y en operación Presión = P_{dis} .)

La esencia operativa se basa en que el 50% del gas que se genera en el día, se almacena en el digestor, para poder compensar los picos de demanda que se presentan durante el día, como se visualiza en la **figura. 7.3**. Ese 50% de gas que fue denominado V'_2 es desalojado hacia una estructura de recepción llamada "Cámara de Hidropresion" la que garantiza, presión hidrostática y compensación volumétrica para hacer fluir el gas y que no se quede gas almacenado sin utilizarse, ya que cada volumen de gas existente en el cuerpo de la estructura debe tener un equivalente de líquido en la cámara de hidropresion. Ver **figura. 7.5**. A fines de este diseño la cámara de hidropresion no es de gran importancia debido



que al digestor adicionara un gasómetro que va a garantizar el suministro de gas a presión constante.

Tomando en cuenta la **Figura. 7.3**, se aprecia que los picos de consumo se dan en los períodos de elaboración de la comida, y en las horas nocturnas por la iluminación, sin embargo otras condiciones de operación como generación eléctrica y bombeo de agua podrían implicar consideraciones diferentes de requerimientos de almacenamiento.

La bajada del material fermentante en el cuerpo del digestor producto de la acumulación del gas (h_2), y la altura inicial del liquido (h_1), ver. **Figura. 7.4**, se pueden calcular mediante las formulas siguientes^[10]

$$h_1 = RI \left[1 + 2 \cos \left(1/3 \cos^{-1} \left(\left(1 - \frac{3V_1}{2pR_1^3} \right) + 240^\circ \right) \right) \right]$$

$$h_2 = 2RI \left\{ \cos \left[1/3 \cos^{-1} \left(1 - \left(\frac{3V_2}{2pR_2^3} \right) + 240^\circ \right) \right] + \cos \left[1/3 \cos^{-1} \left(\left(\frac{3V_1}{2pR_1^3} \right) + 240^\circ \right) \right] \right\}$$

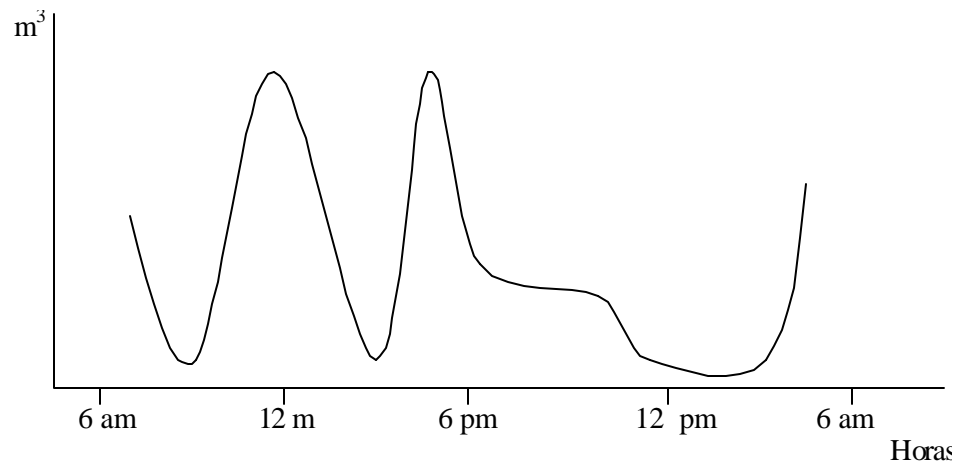


Figura. 7.3. Estimación de los picos de consumo de biogás en viviendas rurales^[17]



Cálculo de la cámara de hidropresión

Con el volumen del gas a almacenar y la presión de diseño, se calcula el diámetro de la cámara de hidropresión, lo cual es el paso clave en lo concerniente al diseño de esta estructura. La "Cámara de Hidropresión" no es más que un tanque almacenador de líquido fermentante, que tiene el mismo volumen del gas a almacenarse, ubicado al lado del biodigestor, donde se recoge el líquido fermentante, alcanzando cierta cota de altura, generándose una presión (Presión de diseño), que será la que permitirá que fluya el biogás, esta presión de diseño se controla tomando en cuenta la cota de ubicación del piso de la cámara y la altura a la que debe quedar el alivio, para mantener dicha presión. Las posibles cotas de ubicación que pueden referenciar la posición de la cámara son múltiples, sin embargo se pueden estudiar dos posiciones, las cuales pueden ser controladas en la obra, con el plano respectivo, estas posiciones o cotas, de ubicación de la cámara de hidropresión son:

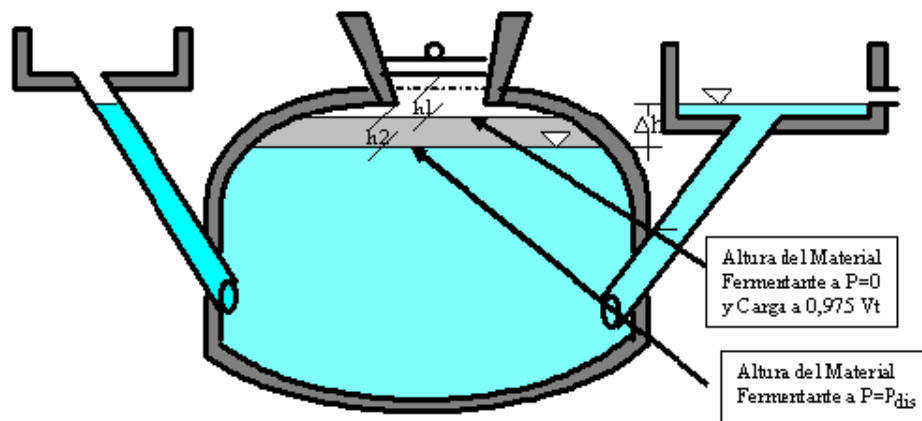


Figura. 7.4. Alturas del material fermentante dependiendo de la cantidad de gas almacenado y de las condiciones derivadas de presión del sistema

- A nivel de la superficie del terreno (Cota = 0)
- A nivel de la altura del material fermentante a presión cero (Cota = $-h_1$)

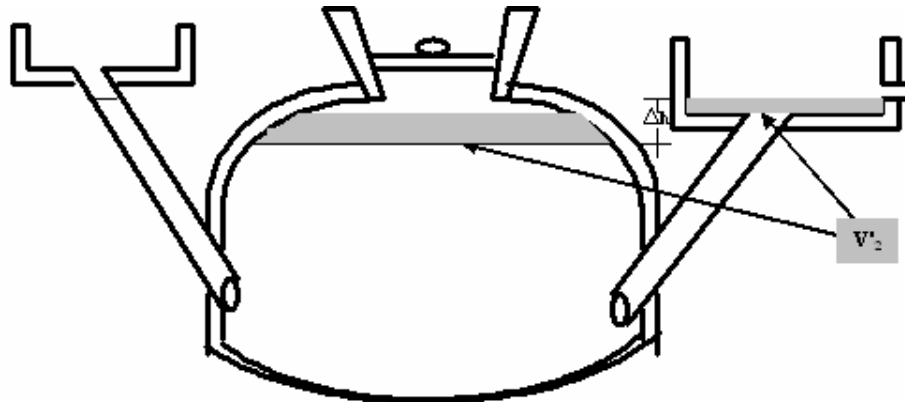


Con relación a estas dos posiciones debe hacerse la consideración de que la que se ubica a nivel de la superficie del terreno puede dar diámetros muy grandes a presiones medias, resultando impráctica su escogencia. Ver **figura. 7.6**

Tuberías de carga y descarga

El diámetro de las tuberías de carga y descarga, será de 4".

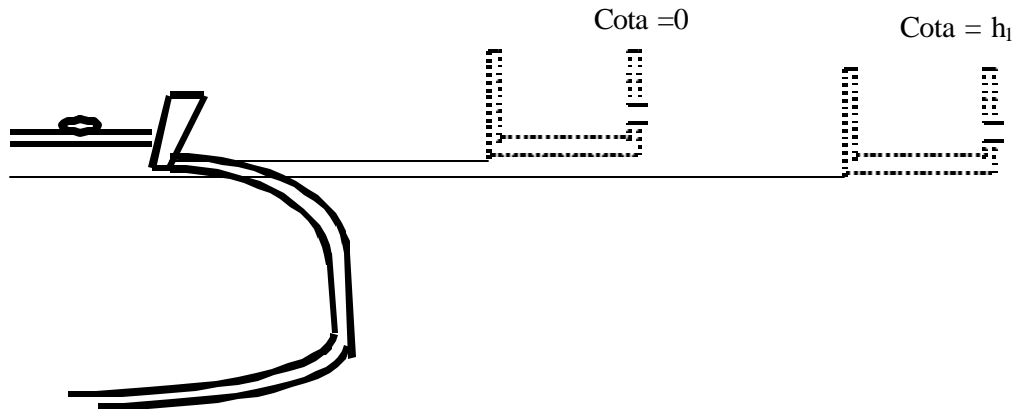
La mayor presión hidrostática se presenta en la unión del cilindro con el piso y estructuralmente se desarrollan esfuerzos que pueden ocasionar el "coceo" de la estructura y por ello debe construirse una viga circular, que arriestra la unión del piso con el cilindro, adicionalmente conviene construir otra viga en la unión de la cúpula con el cilindro. Generalmente no se refuerza el cuerpo de la estructura como tal en digestores pequeños ($< 20 \text{ m}^3$) pero en los de mayor dimensión conviene la pared armada.



Volumen de gas a almacenar = Volumen de líquido desalojado que debe ser recibido en una cámara de hidropresión que posee un diámetro y una altura tal, que garanticen la presión de diseño (Δh)



Figura. 7.5 Visualización del la significación de la cámara de hidropresion



Cota [0] = A nivel de la superficie del terreno

Cota [-h₁] = Piso de cámara de hidropresion a la altura del material fermentante cuando (P = 0)

Figura. 7.6. Posiciones prácticas de la cámara de hidropresion

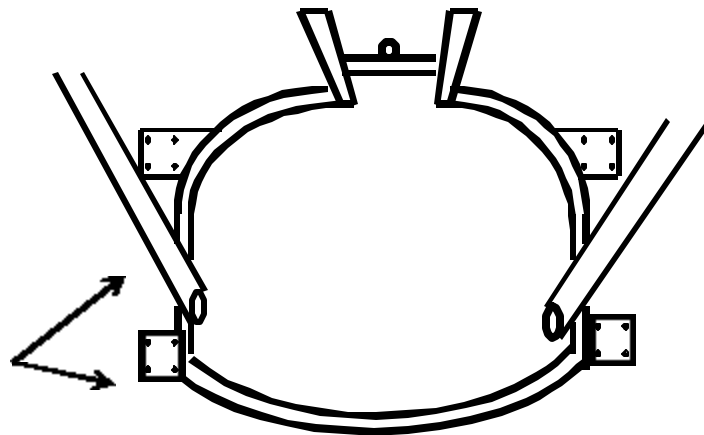


Figura. 7.6. Vigas del biodigestor Chino

Vol.	D (m)	f1	f2	R1	R2	Ho	V _{cúpula}	V _{c. piso}	V _{cilindro}
15	2,91	0,58	0,36	2,11	3,09	1,76	2,04	1,23	11,73



V.V.I	V.fer	50%gas	Tot gas	h1	h2	D _{hidro}
0,375	13,12	1,5	1,875	0,27	0,30	3,05

Tabla 7.1. Resultados de cálculo

7.3.- Biodigestor Batch

Tomando en cuenta que en el digestor modelo batch se agrega la materia prima de manera concentrada (sin disolver en agua), el volumen de este digestor será menor que el chino. Los animales que no estén confinados en corrales de concreto sus excretas serán recogidas de manera manual y confinadas en un lugar destinado al mismo para luego ser llevadas al digestor modelo batch.

Los biodigestores batch, realizan un proceso fermentativo que se caracteriza por que toda la materia orgánica biodegradable se convierte en bioabono, quedando solo la materia orgánica recalcitrante. Este proceso puede durar varias semanas y cuando se agota la materia orgánica hay que renovarla, si se posee un solo digestor, se obliga a que este debe ser de un tamaño grande, Por ende es mejor tener una batería de digestores de dos o tres para garantizar no solo una disminución en el tamaño sino una producción de gas mas continua.

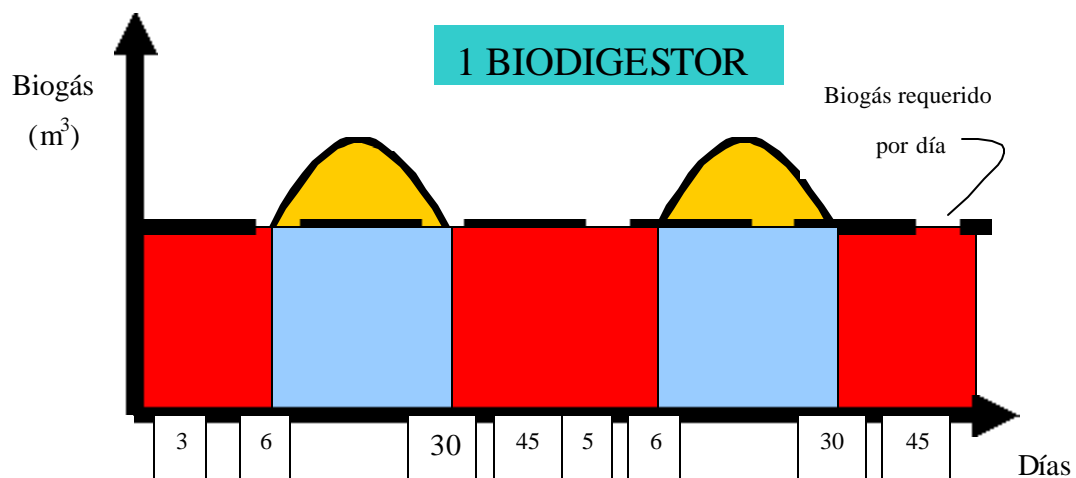


Figura. 7.7. Comparación en cuanto a producción y satisfacción de los requerimientos usando 1, 2 y 3 Biodigestores

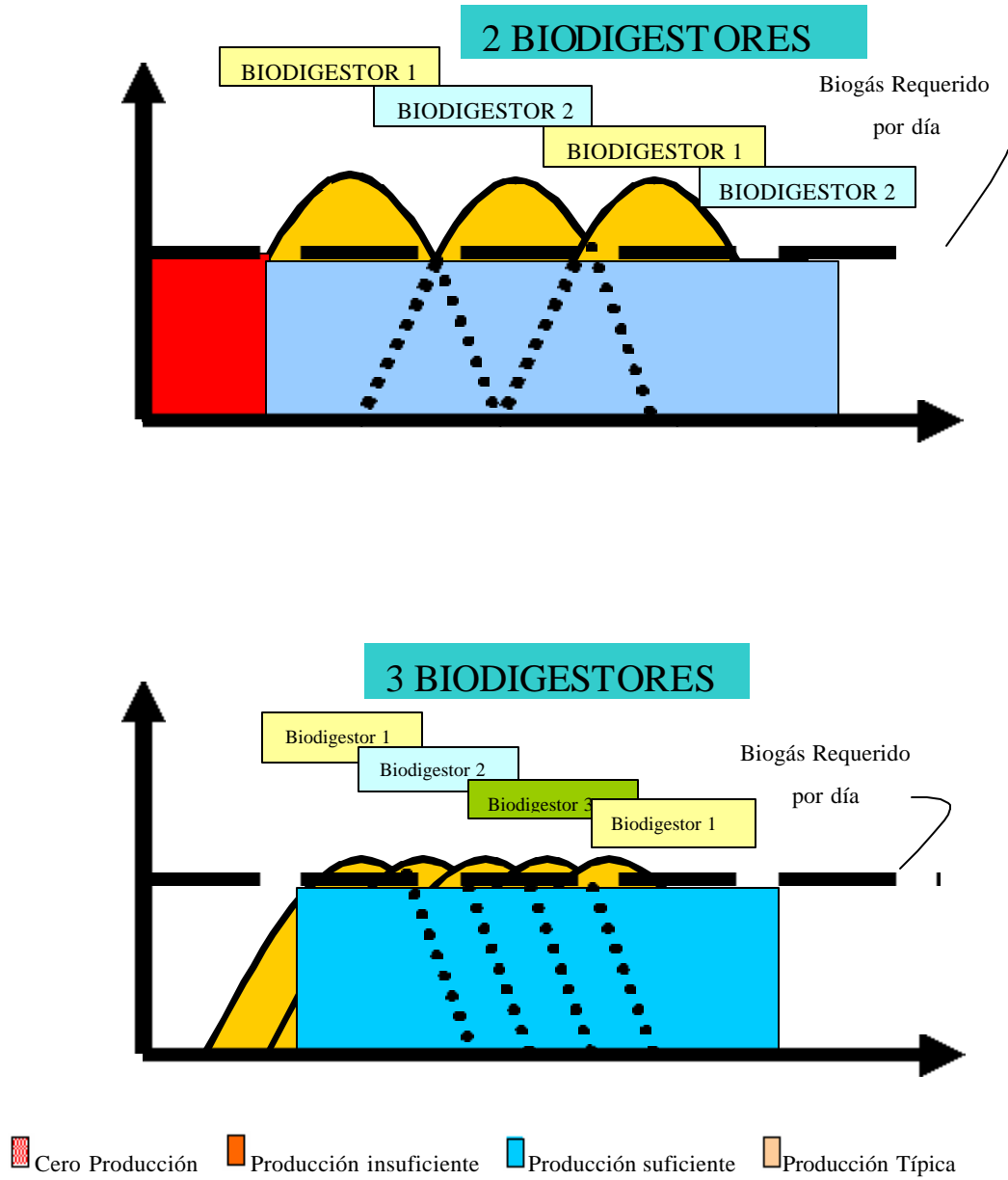


Figura. 7.7. Comparación en cuanto a producción y satisfacción de los requerimientos usando 1, 2 y 3 Biodigestores



El volumen escogido para los digestores batch será de 2 m³ con una batería de 2 digestores, esto a los estimados de animales en la granja dispuestos en tierra, los productos orgánicos residuales de la granja y los cortes del pasto.

El digestor batch se encontrara externamente, con una altura no mayor a 1,5m, esto para facilitar la manipulación del mismo.

Con el volumen se obtiene el diámetro mediante la siguiente formula:

$$V = \frac{p * D^2 * H}{4}$$

Un aspecto importante es el sello de agua del digestor, el cual se calcula con la diferencia de altura (ΔH) y la presión máxima de diseño que será de 50 c.c.a (P_{dis}), teniendo en cuenta que el exterior esta a la presión atmosférica:

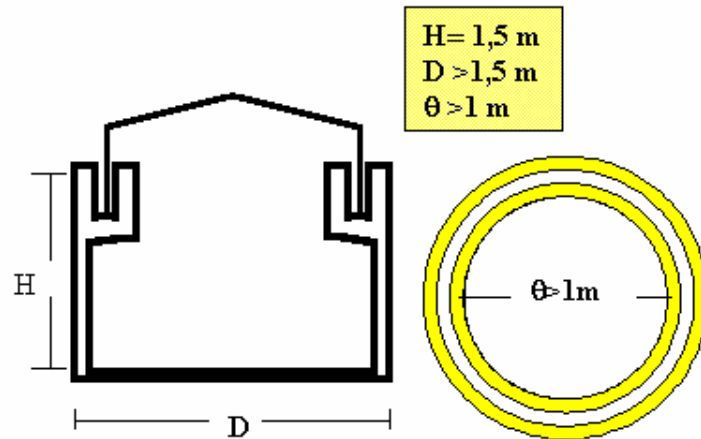


Figura. 7.8. Perspectiva de un digestor batch

Calculo del sello de agua.

$$p_2 = p_1 + l * \Delta H$$

p_2 = Presión de diseño



p_1 = Presión atmosférica

ρ = peso específico

ΔH = Diferencia de altura

De donde se obtiene $\Delta H = 50$ cm.

Cálculo de la cúpula

Para el cálculo de la cúpula del digestor la cual tiene la forma de un cono, se selecciono un metal de acero inoxidable de fácil adquisición comercial (AISI 316L) con un peso específico de 2800 Kg./m³, el diámetro de la cúpula es 1,53 cm., la altura (h) es igual a 10 cm.

$$A = p * r^2 + p * r^2 * \sqrt{r^2 + h^2}$$

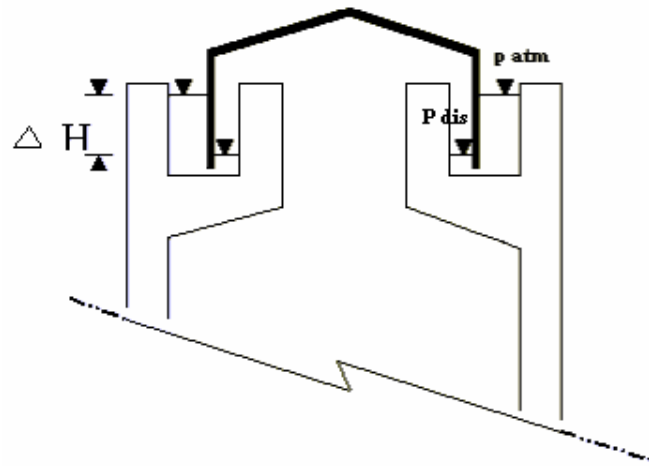


Figura. 7.9. Perspectiva del sello de agua del digestor batch

El peso de la cúpula se divide en la tapa en forma de cono y el cuerpo que es un cilindro.

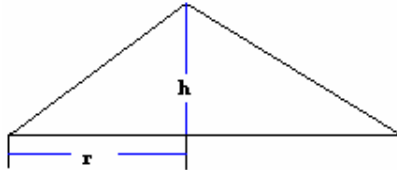


Peso de la tapa

e = espesor del metal

Pe = peso específico

A = área de la tapa de la cúpula



$$\text{Peso Tapa} = A * e * Pe.$$

Peso del cilindro

D = diámetro cilindro (1,53m)

H = altura del cilindro (55cm)

$$\text{Peso Cilindro} = \delta * D * H * e * pe$$

Vol. (m ³)	D int. (m)	H(m)
2	1,69	1,5

Tabla 7.2. Resultados de calculo de la estructura del digester batch

D cúpula(m)	A tapa(m ²)	Peso tapa(Kg.)	Peso cilindro(Kg.)	Peso total(Kg.)
1,53	3,67	51,39	37	88

Tabla 7.3. Resultado de la cúpula



7.4.- Cálculos del gasómetro

El volumen del gasómetro se calcula a partir de la suma de los digestores, Teniendo una capacidad instalada de la suma de los digestores que será:

$$\text{Capacidad instalada} = V \text{ chino} + 2 V \text{ batch}$$

$$\text{Capacidad instalada} = 19 \text{ m}^3$$

Calculo del volumen

Teniendo en cuenta la producción de gas estimada de $0,2\text{m}^3$ biogás/ m^3 estructura x día, el volumen del gasómetro será de $0,2 \times 19\text{m}^3$ siendo el volumen del gasómetro igual a 4 m^3 ,

Para el cálculo de la cúpula donde se almacenará toda la capacidad del gasómetro tendremos:

$$D = 1,6 \text{ m}$$

$$V = 4 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{p * D^2 * h}{4}$$

El material de la tapa será acero inoxidable esto para evitar que el oxido producido interfiera con la reacción siendo el escogido el AISI 316L,

Peso de la tapa

$$e = 0.005\text{m}$$

$$Pe = 2800\text{N}/\text{m}^3$$

$$D = 1,6\text{m}$$

$$\text{Peso Tapa} = \frac{p * D^2 * e * Pe}{4}$$

Peso Cilindro



$$h = 1,98\text{m}$$

$$\text{Peso Cilindro} = p * D * h * e * Pe$$

Peso del Tubo guía

Para el eje central que hará el papel de guía tendrá un tubo de 4'' de diámetro externo, una longitud de 4 m y para el tubo ubicado en el exterior que deslizará tendrá un diámetro interno de 11 cm., una longitud de 1,98m, de acero comercial AISI 316L.

El peso del tubo exterior que ira soldado a la tapa será de:

$$e = 0.004\text{m.}$$

$$Pe = 2800\text{N/m}^3.$$

$$D_{\text{int}} = 0.11\text{m.}$$

$$D_{\text{ext}} = 0.114\text{m.}$$

$$h = 1,98 \text{ m}$$

$$\text{Peso tubo} = \frac{p * (D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2) * h * Pe}{4}$$

Para el cálculo de la presión que la cúpula del gasómetro ejerce sobre el sistema se tiene:

$$\text{Presión} = \text{Peso} / \text{superficie}$$

$$\text{Superficie} = \frac{p * D^2}{4}$$

La cúpula del gasómetro será colocada en una piscina de paredes de concreto, la cual evitara que se escape el gas con una altura de 2,00 m y un diámetro de 1,7 m capaz de llevar en su interior la cúpula, la cual será guiada por un eje de metal y una camisa pegado a la tapa del gasómetro.



Vol (m ³)	D (m)	h (m)	Peso tapa (Kg)	Peso Cil (Kg)
4	1,6	1,98	28,14	170

Peso tubo guía (Kg)	Peso cúpula (Kg.)	Presión sistema (c.c.a)
3,90	200	10

Tabla 7.4. Resultados de cálculo de la estructura y cúpula del gasómetro

7.5.- Conducción del gas

Los cálculos para la conducción de gas se basan en tuberías a baja presión, con un fluido sujeto a pérdidas de cargas por fricción en la tubería, la presión mínima del sistema es de 0 c.c.a teniendo su máxima en 50 c.c.a.

MODELO	USO	CONSUMO m ³ /h	Presión mínima (c.c.a)
Quemador Pekín	cocina	0,40	30
Quemador Jianxieng	cocina	0,42	18
Quemador Sichuang	cocina	0,42	30
Quemador Shanghai	cocina	0,42	20
Lámpara Tuojiang	iluminación	0.09	40

Tabla 7.5. Requerimientos de presión en accesorios domésticos diseñados para utilizar biogás y su consumo. ^[17]

El cálculo se basa en la siguiente formula derivada de la ecuación de Bernoulli



$$p_1 - p_2 = \frac{\rho * l * v^2 * V}{2 * d} \pm g * h * (V - V_a)$$

$p_1 - p_2$ = diferencia de presiones entre el final y el principio de la tubería (N/m²)

l = longitud de la tubería (m)

d = diámetro de la tubería

v = velocidad del fluido (m/s)

ρ = densidad del fluido (Kg./m³)

ρ_a = densidad del aire ambiente (Kg./m³)

α = coeficiente de rozamiento

g = aceleración de gravedad (m/s²)

El valor del α (coeficiente de rozamiento) depende de la rugosidad del conducto, lo cual está relacionado con el material de construcción.

Los valores de la rugosidad “ k ”, necesarios para calcular el coeficiente de fricción “ α ”, son presentados en la **tabla 7.6**

Material del tubo	Estado de la Pared	Rugosidad “ k ” (mm.)
Plástico	nuevo	0,002
Acero	nuevo	0,04

Tabla 7.6. Valores de la rugosidad media “ k ” en tubos^[17]

El valor del coeficiente de rugosidad “ α ”, se obtiene aplicando la relación que se presenta a continuación:

$$\frac{1}{v * \alpha} = 2 * \lg \frac{d}{k} + 1,14 = 2 * \lg(3,71 * \frac{d}{k})$$



La velocidad de conducción promedio para gases a baja presión es, de 3 a 10 m/seg. Ver **anexo 20**

7.6.- Manuales para el biodigestor chino

7.6.1.- CÁMARAS DE CARGA Y DESCARGA

- Depende de las jornadas de limpieza en la granja y la periodicidad con que estas se realicen.
- La condición de carga manual de la cámara debe ser en volumen 3 a 5 agua/excreta.
- La rutina de carga, implica una periodicidad diaria, o interdiaria, no conviene alargar mas los periodos.

7.6.2.- DESCARGA DEL BIODIGESTOR

- El efluente del biodigestor sale por la cota de alivio de la cámara de descarga sin necesidad de mano de obra. Este debe ser recogido en un recipiente y utilizarlo como abono liquido.

NOTA: Esta forma de operación, facilita el manejo del digestor, ya que lo que se hace es un manejo hidráulico del sistema, que puede llegar, incluso a no requerir mano de obra en la operación si las condiciones topográficas son favorables, de requerirla, esta es de solo pocos minutos por día.

Lo único que se requiere para que se de la fermentación anaerobia es un adecuado manejo del medio ambiente, es decir, una temperatura estable; una atmósfera libre de oxígeno; una alimentación constante; un tiempo de retención de 3 a 5 días; y bajas concentraciones de metales pesados.



Una vez que se han establecido las condiciones de cultivo apropiadas, las bacterias pueden activarse y durar indefinidamente siempre que el medio ambiente se mantenga favorable. Todo cambio repentino en los factores ambientales se traduce en una grave interrupción del proceso e incluso en la muerte del digestor.

7.6.3.- MANUAL DE INSTALACIÓN

Los siguientes pasos son los básicos para la construcción de un biodigestor modelo chino. Para cada una de las actividades, se especifica el número de días aproximados de duración.

- Excavación a mano (5 días) o mecanizada (1 día)
- Colocación de la malla del piso y de las cabillas de la viga de la unión del cilindro con el piso, vaciado del piso y empotramiento de la primera hilada de bloques en el concreto fresco (2 a 3 días)
- Construcción de la pared del cilindro, llenado de la viga de unión del piso con el cilindro, empotramiento de las tuberías de entrada y salida. Nota: todos los bloques van rellenos. (2 a 3 días)
- Construcción de la cúpula del biodigestor colocación del relleno hasta la altura de la viga que va en la unión del cilindro con la cúpula y vaciado de la viga de la unión de la cúpula con el cilindro, Construcción de las cámaras de hidropresión y de carga (3 a 4 días)
- Construcción de la corona del biodigestor, construcción de el tanque de almacenamiento del abono líquido (3 a 4 días)
- Frisado de toda la estructura y de las cámaras de hidropresión, de carga y tanque de abono, colocación y enterramiento de la tubería de gas y trampas de agua. (6 a 7 días).



En la Figura. se da una idea de lo que puede representar una programación constructiva de un digestor de este tipo donde los días señalados son una aproximación a los tiempos promedios estimados.

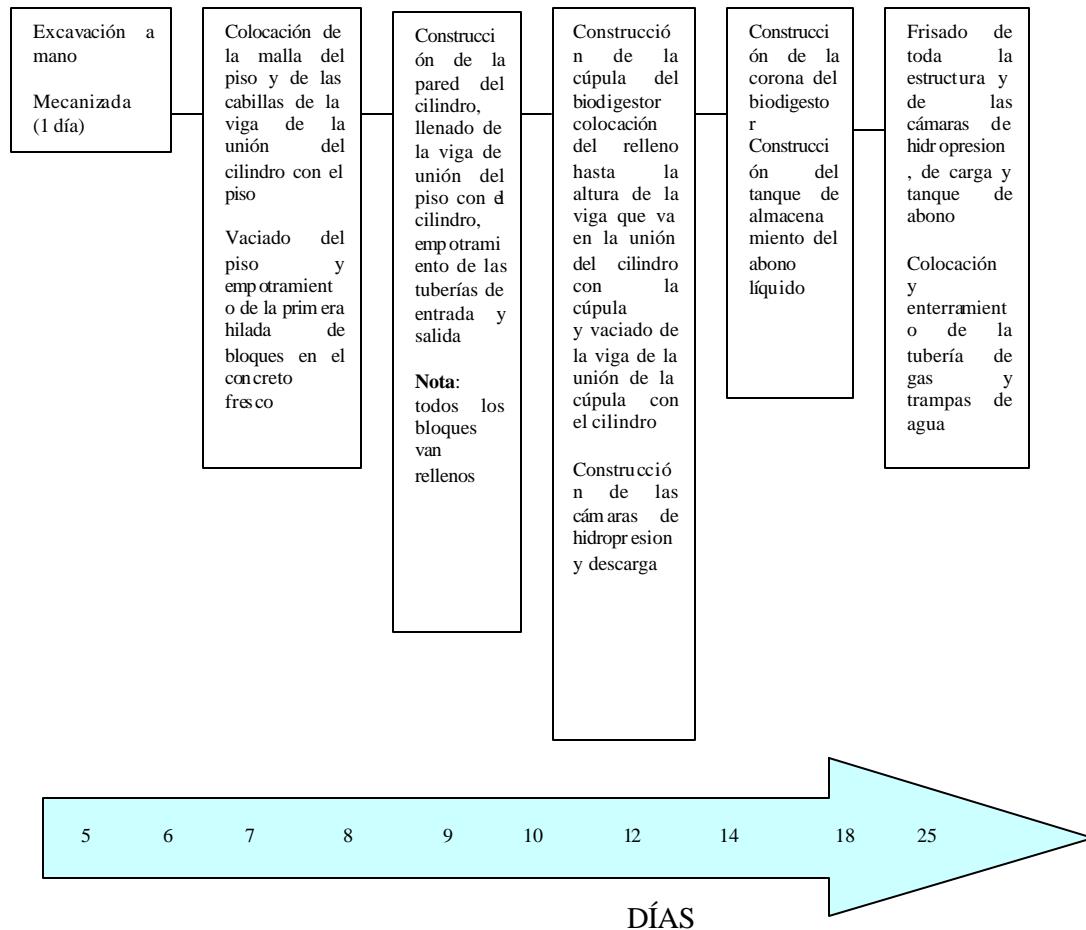


Figura. 7.10. Programación aproximada de construcción del biodigestor chino

7.6.4.- MANUAL DE MANTENIMIENTO

La vida útil de estas estructuras es larga si se asegura en la construcción la utilización de materiales de calidad y más aun si se adiciona la utilización de materiales hidrófobos. En todo caso se debe incorporar un programa de



mantenimiento correctivo (corrección de grietas y refriso de paredes) para atacar cuando sea necesario problemas de fuga.

7.7.- Manuales para el biodigestor modelo batch

7.7.1.- CARGA DEL BIODIGESTOR

- Inocular con materia fermentativa anterior
- Introducir la materia prima
- Saturar con agua.
- Colocar la cúpula
- Esperar el tiempo de retención determinado

7.7.2.- DESCARGA DEL BIODIGESTOR

- Destapar el biodigestor.
- Descargar abono líquido y sólido.
- Volver a cargar.

NOTA: En la operación discontinua se utilizan principalmente desechos sólidos orgánicos, a los cuales se somete en el interior de la estructura a una saturación completa. Estos desechos sólidos pueden ser restos de cosecha, pasto repicado, excretas secas o semisólidas recogidas manualmente, hojas secas y papeles sanitarios entre otros.

Se caracteriza por generar biogás y abono sólido (saturado), y la forma de ejecutar la operación en sí, es cargar el digestor con el desecho, inoculándolo. Los niveles de inculo deberán ser en una proporción entre el 10-25% del volumen de la estructura.

En cuanto a la producción de biogás y su evolución, los digestores bajo carga discontinua, presentan un período inicial en donde la producción es nula o



muy baja, en la **Figura. 3.10** se puede apreciar la curva de producción de biogás y la producción acumulada para un desecho agropecuario. Este proceso puede durar varias semanas y cuando se agota la materia orgánica hay que renovarla, si se posee un solo digestor, se obliga a que este debe ser de un tamaño grande e igualmente el gasómetro para poder generar y almacenar durante los períodos en que no hay generación de gas, si se poseen dos biodigestores y así sucesivamente si hay un tercer biodigestor, el gas a almacenar será menor. Ver **figura. 7.12**.

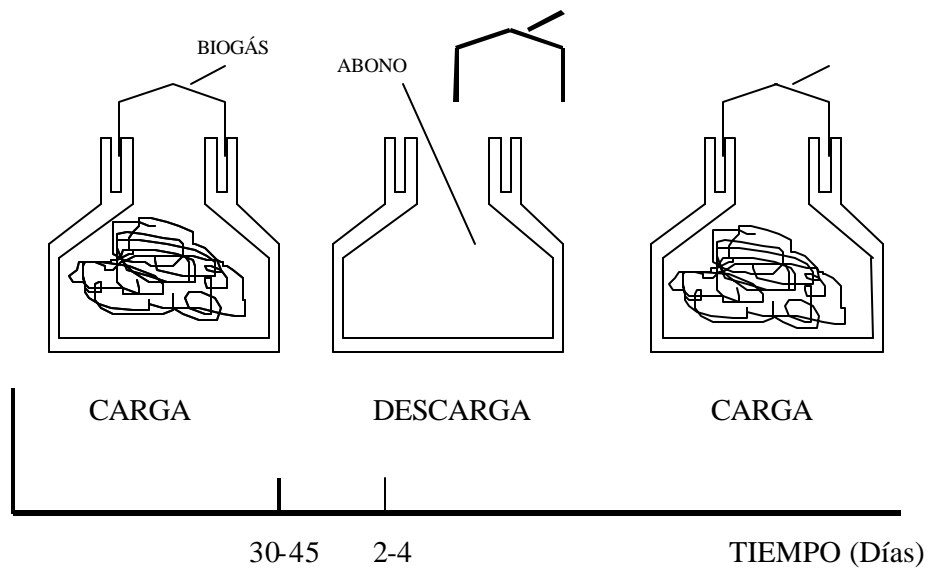
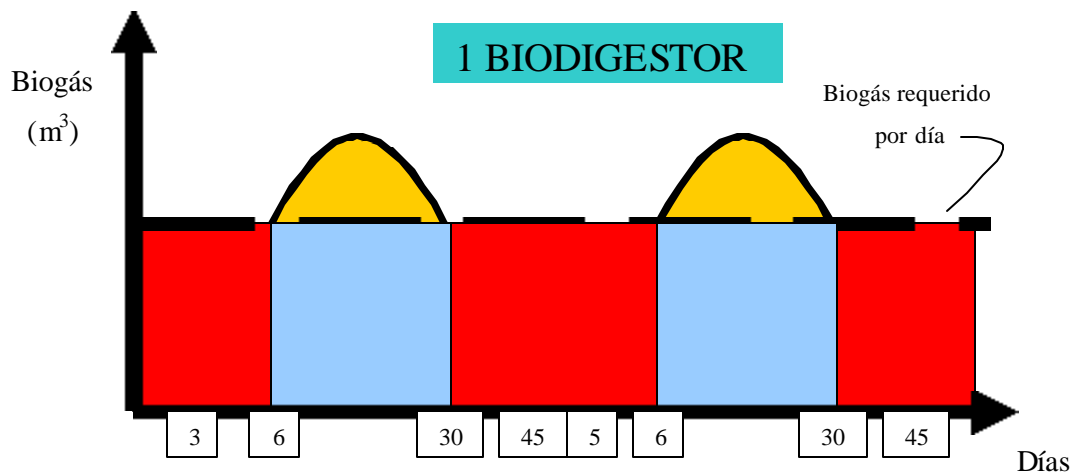


Figura. 7.11. Operación del biodigestor batch.



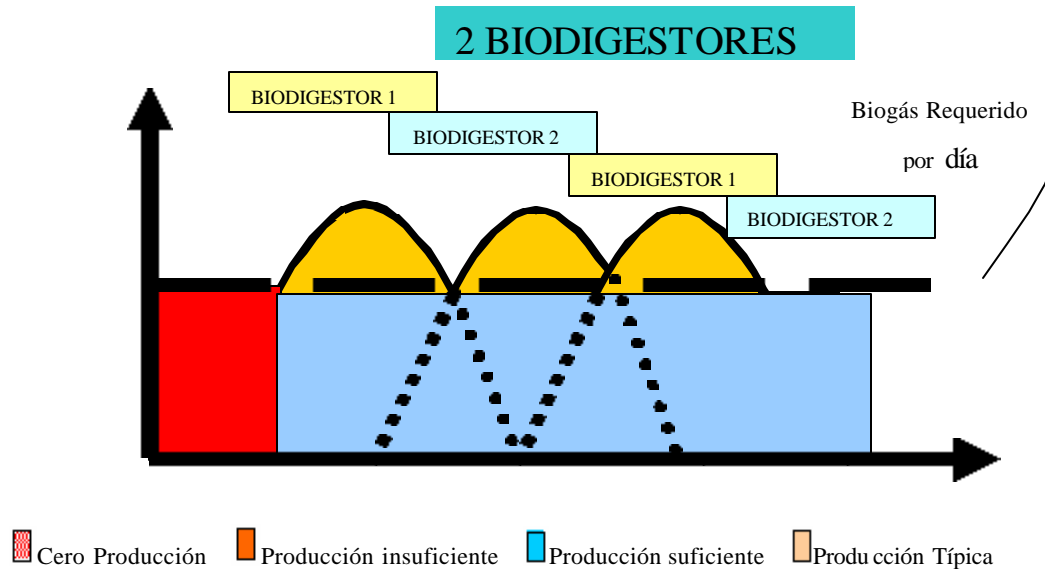


Figura. 7.12. Comparación en cuanto a producción y satisfacción de los requerimientos usando 1 y 2 biodigestores.

7.7.3.- MANUAL DE INSTALACIÓN

La Construcción del biodigestor batch, se enfoca hacia dos aspectos, uno es la de la de la propia estructura y el otro hacia la de la fabricación de la cúpula metálica.

Los siguientes pasos son los básicos para la construcción de un biodigestor modelo batch. Para cada una de las actividades, se especifica el número de días aproximados de duración.

- Remoción de la capa vegetal (1 día).
- Colocación de la malla del piso y de las cabillas para las paredes (2 a 3 días).
- Vaciado de la losa del piso y empotramiento de la primera hilada de bloques en el concreto fresco (1 a 2 días).
- Construcción de la pared (2 a 3 días)



- Encofrado de la losa que soporta el sello de agua (2 a 3 días)
- Colocación de los bloques que conforman el sello de agua y frisado de la estructura (6 a 7 días)

Una programación aproximada con una mano de obra de un albañil y obreros puede apreciarse en la **Figura. 7.13**

7.7.4.- MANUAL DE MANTENIMIENTO

Se debe incorporar un programa de mantenimiento preventivo anual (pintura de la cúpula) y correctivo cuando sea necesario (corrección de grietas y refribo de paredes) mediante la aplicación de este programa se puede esperar una vida útil de más de 20 años.

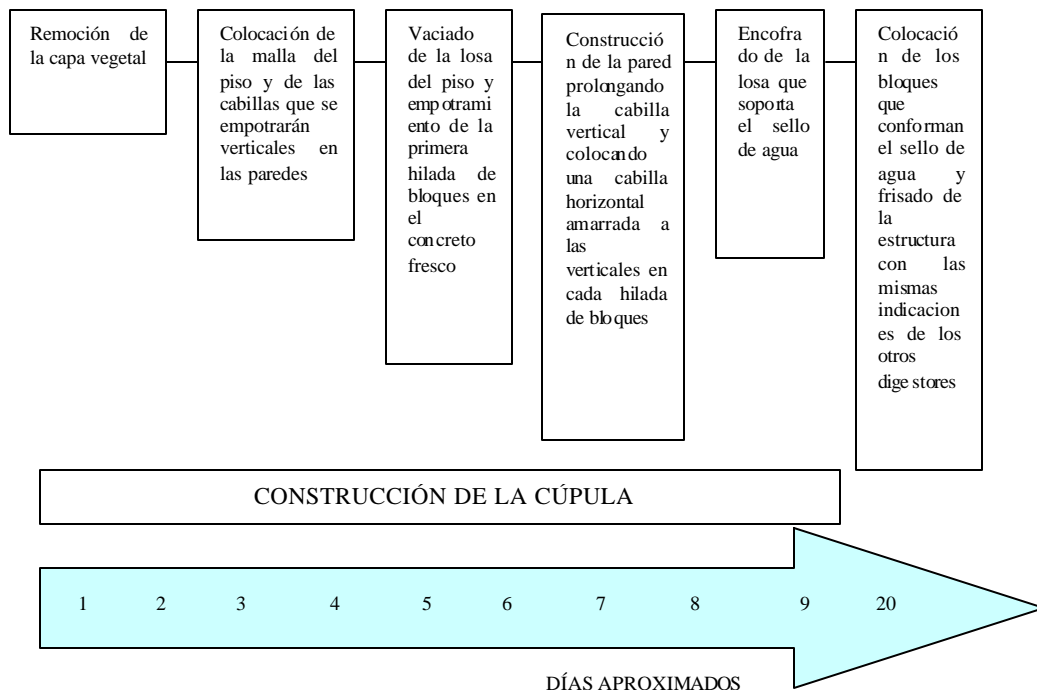


Figura. 7.13. Programación aproximada del biodigestor batch.



7.8.- Manuales para el gasómetro:

7.8.1.- CARGA DE BIOGÁS:

Se realiza automáticamente, una vez que ha comenzado la producción en los biodigestores. El llenado del gasómetro, se verifica a medida que la cúpula metálica sube de nivel.

7.8.2.- DESCARGA DE BIOGÁS:

Ocurre automáticamente en el momento de abrir las válvulas en los puntos de consumo. De ser necesario se deben agregar pesos sobre la cúpula para aumentar la presión mínima necesaria en el punto de consumo. Ver **Capítulo 4** sección **4.3.** y **tabla 7.5**

7.8.3.- MANUAL DE INSTALACIÓN:

- Remoción de la capa vegetal
- Hacer una excavación en el centro del piso para empotrar el tubo guía del gasómetro.
- Colocación de la malla del piso y de las cabillas para las paredes.
- Vaciado de la losa del piso y empotramiento de la primera hilada de bloques en el concreto fresco
- Construcción de la pared.
- Colocación del eje guía del gasómetro, y prueba de la camisa del mismo.
- Frisado de las paredes externa e interna del gasómetro.
- La cúpula se fabrica de la misma manera que para el biodigestor batch.

CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- Mediante la aplicación de una metodología de diseño, se pudo resolver el problema de saneamiento ambiental planteado obteniendo como subproducto gas combustible y abono orgánico utilizables en su totalidad por la granja para su beneficio y autosustentabilidad.
- El proceso de fermentación anaeróbica puede usarse como una fuente de energía prácticamente inagotable, obtenida a partir de los efluentes o los desechos de diversas actividades del hombre, teniendo de esta manera un ciclo continuo de producción de combustible y abono que respeta al medio ambiente
- El manejo de los desechos no es un problema solo de administración pública. Depende de la cultura de todos y el buen uso que se le pueda dar. Mediante la cultura del saneamiento ambiental con aprovechamiento energético no solo mejoramos el entorno sino que tenemos un beneficio renovable y limpio que puede durar para toda la vida.
- Las pequeñas comunidades rurales aisladas que carecen de acceso a los recursos energéticos y sistemas de aseo urbano y producen desperdicios (como estiércol y restos vegetales) de sus actividades regulares, pueden obtener grandes beneficios con la aplicación de sistemas de fermentación anaeróbica (biodigestores rurales) para el tratamiento de los desechos y abastecerse del biogás como fuente de energía.
- La utilización de todos los beneficios de la digestión anaeróbica es un reto para la ciencia y la tecnología buscando llegar a un aprovechamiento óptimo de este recurso renovable no explotado.



- La producción de gas obtenida puede satisfacer las necesidades diarias de una familia rural estipulada en 1m^3 de biogás, teniendo en cuenta que esto implica cocinar 3 veces al día para 4 personas y la iluminación nocturna
- Con el tratamiento de las aguas y excreta se puede reducir los índices de DQO en un 49%
- La disponibilidad diaria de biogás en la granja será de 4m^3 con una capacidad instalada de biodigestores de 19m^3 .
- El material fermentante expresado en forma de sólidos (totales o volátiles) y la demanda química de oxígeno (DQO) decaen en función del tiempo debido a la acción bacteriana.



RECOMENDACIONES

- Promover líneas de estudio en el campo de las energías renovables, específicamente la biomasa para desarrollar investigaciones de optimización de los sistemas, aplicaciones, etc.
- Estudio de nuevas formas almacenamiento del biogás para su mejor manipulación.
- Estudio de la adaptación de los equipos ya existentes para la utilización del biogás.
- Promover el desarrollo de temas relacionados con la sociedad y sus necesidades primordiales, ya que estamos en la capacidad de solucionar muchos de estos problemas.
- Crear conciencia en las comunidades acerca de los usos de la energía y los beneficios que se obtienen con un adecuado uso de la misma.
- Crear un programa de saneamiento ambiental con el fin de distribuir esta tecnología a los distintos lugares a nivel nacional.
- Crear una cultura acerca del buen uso y manejo de los desperdicios agro-industriales, con el fin de evitar el alto impacto ambiental que se ha venido realizando en los últimos años.
- Buscar la integración de la ingeniería con otras ramas con el fin de buscar mejoras a esta tecnología.

BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía y referencias

- [1] Fillipin C, Follari J, Vigil, J. “Diseño de un biodigestor para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas lecheras en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional de la Pampa” <http://mail.inenco.net/~asadedit/avermas/averma3/06-05.pdf>
- [2] Yank, L., Martina P, Corace J, Aeberhard A. “Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos” <http://arandu.org.ar/pub/digestororiginal3/06-05.pdf>
- [3] Giordani Andreina, Información Proyecto Granja Autosustentable Noviembre 2004
- [4] Mc. Inerney, M. Bryant, M. “Metabolic stages and energetics of microbial anaerobic digestion”. In Anaerobic Digestion. A.S.P. London. 1980. Pp 91 – 98
- [5] Hobson, P. y otros. “Anaerobic digestion of piggery and poultry wastes”. In Anaerobic Digestion. A.S.P. London. 1980. pp. 91 – 98
- [6] EMBRATER - INE – PREDESUR. “Manual técnico de operación y construcción de biodigestores chinos”. 1983. 44 pág
- [7] Taiganides E. P., “Biogas: recuperación de energía de los excrementos animales”, Zootecnia, N° 35, 1980. pp. 2-12.
- [8] Rivas, M. Edin, H. “Aplicación del biogás en un motor de combustión interna y una cocina domestica”. Trabajo especial de grado, Facultad de Ingeniería, U.C.V. Caracas, 1983.
- [9] FAO-NU. “Reciclaje de materias orgánicas y biogás. Una experiencia en china. 1986. 68 Pág.
- [10] Taylhardat, L. “Procesos biológicos para el saneamiento y aprovechamiento energético de efluentes y desechos sólidos” Trabajo de ascenso, facultad de Agronomía, U.C.V. Maracay. 1998. 136 Pág.
- [11] Herning, F. “transporte de fluidos por tubería. Labor.1975. 180 Pág.
- [12] Colmenares, J. “Evaluación de la producción de biogás y aislamiento de colonias bacterianas anaeróbicas en digestores batch o por lotes a partir de la utilización de desechos orgánicos”. Trabajo especial de grado. U.C.V. Facultad de Agronomía. 1987. 64 Pág.
- [13] Almada A. “Utilización del biogás”, 9 Pág., México.



- [14] Cross, N. “Métodos de diseño” Limusa.184 Pág. 2002.
- [15] Organización internacional del trabajo (OIT) “La salud y la seguridad en el trabajo.”
http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ergo/ergonomi.htm/03/12-05.pdf.
- [16] Niebel, B. “Ingeniería Industrial, Estudios de tiempos y movimientos.” 1996. 664 pág.
- [17] Taylhardat, L. “El biogás: fundamentos e infraestructura rural.” Trabajo de Ascenso. U.C.V. Facultad de Agronomía. 68 Pág. 1989.
- [18] Moreno, J. “ Diseño y construcción de un almacenador de gas (gasómetro)en concreto armado y formulación desprograma de computación para el diseño geométrico del digestor chino” Trabajo de grado. U.C.V. Facultad de agronomía. 1988. 62 Pág.

	Vacuno	Porcino	Aves	Ovinos	Equinos	Humanos
Producción de excrementos (Kg./d)	8,6	5	6	3,6	5	0,70
Sólidos totales (Kg./d)	1,06	0,73	1,74	1,07	1,03	-
Sólidos volátiles (Kg./d)	0,86	0,6	1,28	0,91	0,75	-
Producción de biogás (m ³ /Kg./d)	0,33	0,27	0,7	0,69	0,23	0,70
Producción de bioabono (Kg./d)	1,72	1,00	1,2	-	1,00	-

Anexo 1. Producción de biogás por fermentación anaeróbica de excrementos animales.

BIODIGESTOR MODELO CHINO	
Tipo de cúpula	Fija
Numero de tanques	3
Materiales	Bloques de concreto, adobe, cemento armado, conductos de plástico o concreto
Ubicación	Bajo el nivel del suelo
Producción de gas	Continua
Construcción	Albañil profesional con supervisión
Influencia de la temperatura	Ninguna
Mantenimiento	Muy poco
Materia prima	Excretas diluidas
Mecanismos internos	Ninguno
Dispositivos de seguridad	Cámara de hidropresión, sello de agua
Presión del gas	Variable
Tipo de manipulación	Mediana
Almacenamiento de gas	En la misma estructura
Orientación	Vertical

Anexo 2.

BIODIGESTOR MODELO INDIO	
Tipo de cúpula	Móvil
Numero de tanques	3
Materiales	Bloques de concreto, concreto armado
Ubicación	Bajo el nivel del suelo
Producción de gas	Continua
Construcción	Mano de obra un poco especializada
Influencia de la temperatura	Influenciado por los cambios del medio
Mantenimiento	Muy poco
Materia prima	Excretas diluidas y otros efluentes
Mecanismos internos	Ninguno
Dispositivos de seguridad	Cámara de hidropresión, sello de agua
Presión del gas	Constante
Tipo de manipulación	Mediana
Almacenamiento de gas	Gasómetro incorporado (acero)
Orientación	Vertical

Anexo 3.

BIODIGESTOR MODELO XOCHICALLI	
Tipo de cúpula	Fija
Numero de tanques	3
Materiales	Concreto armado
Ubicación	Sobre el nivel del suelo
Producción de gas	Continua (muy poca)
Construcción	Mano de obra poco especializada
Influencia de la temperatura	Influenciado por los cambios del medio
Mantenimiento	Poco
Materia prima	Efluentes domésticos
Mecanismos internos	Ninguno
Dispositivos de seguridad	Sello de agua
Presión del gas	Variable
Tipo de manipulación	Mediana
Almacenamiento de gas	Gasómetro aparte
Orientación	Horizontal

Anexo 4.

BIODIGESTOR MODELO PLASTICO TUBULAR	
Tipo de cúpula	Fija
Numero de tanques	1
Materiales	Plásticos petroquímicos de alta resistencia
Ubicación	Sobre o bajo el nivel del suelo
Producción de gas	Continua (muy poca)
Construcción	Empresa especializada
Influencia de la temperatura	La radiación solar acorta su vida útil
Mantenimiento	Poco
Materia prima	Excretas diluidas
Mecanismos internos	Ninguno
Dispositivos de seguridad	Ninguno
Presión del gas	Variable
Tipo de manipulación	Baja
Almacenamiento de gas	En la misma estructura
Orientación	Horizontal o vertical

Anexo 5.

BIODIGESTOR MODELO BATCH O “POR LOTES”	
Tipo de cúpula	Fija
Numero de tanques	1
Materiales	Concreto armado y bloques
Ubicación	Sobre el nivel del suelo
Producción de gas	Discontinua
Construcción	Mano de obra no muy especializada
Influencia de la temperatura	Poca
Mantenimiento	Preventivo anual y correctivo
Materia prima	Toda la materia orgánica digerible
Mecanismos internos	Ninguno
Dispositivos de seguridad	Sello de agua, válvula de alivio
Presión del gas	Variable
Tipo de manipulación	Muy poca
Almacenamiento de gas	Gasómetro
Orientación	Vertical

Anexo 6.

BIODIGESTOR MODELO BATCH O “POR LOTES”	
Tipo de cúpula	Fija
Numero de tanques	1
Materiales	Concreto armado y bloques
Ubicación	Sobre el nivel del suelo
Producción de gas	Discontinua
Construcción	Mano de obra no muy especializada
Influencia de la temperatura	Poca
Mantenimiento	Preventivo anual y correctivo
Materia prima	Toda la materia orgánica digerible
Mecanismos internos	Ninguno
Dispositivos de seguridad	Sello de agua, válvula de alivio
Presión del gas	Variable
Tipo de manipulación	Muy poca
Almacenamiento de gas	Gasómetro
Orientación	Vertical

Anexo 6.

Prof.. Fabián Flores:

1. Qué mecanismo propone ud. para transportar los desechos hasta el biodigestor?
2. Qué tipos de desechos cree ud. que puedan introducirse al biodigestor?
3. Qué variables hay que controlar durante el proceso?
4. Como se miden estas variables?.
5. Como se conducen los materiales desde la entrada hasta el interior del biodigestor?
6. Como se logra homogenizar la mezcla?
7. Como se puede almacenar el gas?
8. Que mecanismos se usan para sacar el bioabono de biodigestor?
9. Como distribuir el gas?
10. Como recuperar los líquidos sobrenadantes?
11. Que etapas tiene el proceso desde la obtención de la materia prima hasta la salida de los productos finales?
12. Que materiales recomienda para la construcción del biodigestor?
13. Cuales son las principales fallas que presenta un biodigestor?
14. Cuales son los riesgos existentes en un sistema de biodigestion?
15. Cuales son los instrumentos necesarios para el sistema de regulación y control?
16. Que pruebas se deben realizar al biodigestor para garantizar su buen funcionamiento?

Anexo 7.

Arquitecto Andreina Giordani

1. Qué mecanismo propone ud. para transportar los desechos hasta el biodigestor?
2. Qué tipos de desechos se producirán en la granja?
3. Qué tipos de desechos cree ud. que puedan introducirse al biodigestor?
4. Cuanta disponibilidad de agua existe en la granja?
5. Que uso se le podría dar al biogás?
6. Qué uso se le podría dar al bioabono?
7. Qué uso se le podría dar al líquido producido?
8. Cuáles son los requerimientos energéticos de la granja?
9. Cuales son los datos bioclimaticos del ambiente?
10. Que materiales recomienda para la construcción del biodigestor?
11. Qué tipo de acabado prefiere? Explique.
12. Prefiere que este a la vista o no?
13. Existe alguna limitación con respecto al tamaño? Especifique.
14. Existe algún inconveniente en el transporte manual de los desechos hasta el biodigestor?
15. Existe algún inconveniente en cuanto a la manipulación del bioabono?
16. En que lugar se ubica la granja?
17. Qué espacio tenemos disponibles para la ubicación del biodigestor?
18. existe alguna restricción con respecto a la ubicación del biodigestor en la granja (personas, animales, cultivos)?
19. Qué materiales son de fácil o mediana adquisición en la zona, para la construcción del biodigestor?

Anexo 8.

Grupo Agronomía

1. Qué mecanismo propone ud. para transportar los desechos hasta el biodigestor?
2. Qué tipos de desechos cree ud. que puedan introducirse al biodigestor?
3. Que uso se le podría dar al biogás?
4. que uso se le podría dar al bioabono?
5. Que uso se le podría dar al líquido producido?
6. Que variables hay que controlar durante el proceso?
7. Como se miden estas variables?.
8. Como se conducen los materiales desde la entrada hasta el interior del biodigestor?
9. Como se logra homogenizar la mezcla?
10. Como se puede almacenar el gas?
11. Que mecanismos se usan para sacar el bioabono de biodigestor?
12. Como distribuir el gas?
13. Como recuperar los líquidos sobrenadantes?
14. Que etapas tiene el proceso desde la obtención de la materia prima hasta la salida de los productos finales?
15. Que materiales recomienda para la construcción del biodigestor?
16. Prefiere que este a la vista o no?
17. Cuantas paradas tiene el biodigestor en 1 año?
18. Cuales son las principales fallas que presenta un biodigestor?
19. Cuales son los riesgos existentes en un sistema de biodigestion?
20. Cuales son los instrumentos necesarios para el sistema de regulación y control?
21. Cada cuanto tiempo se realiza mantenimiento al biodigestor?
22. Cual es la vida útil promedio de un biodigestor?
23. cuando se podría considerar que el biodigestor ya no es útil?
24. Que prueba se deben realizar al biodigestor para garantizar su optimo rendimiento?

Anexo 9.

Grupo CISPI

1. Qué mecanismo propone ud. para transportar los desechos hasta el biodigestor?
2. Cuales son los datos bioclimaticos del ambiente?
3. Que materiales recomienda para la construcción del biodigestor?
4. Qué tipo de acabado prefiere? Explique.
5. Prefiere que este a la vista o no?
6. Qué materiales son de fácil o mediana adquisición en la zona, para la construcción del biodigestor?

Anexo 10

Otros integrantes CISPI

1. Que materiales recomienda para la construcción del biodigestor?
2. Qué color prefiere?
3. Qué tipo de acabado prefiere? Explique
4. Prefiere que este a la vista o no?
5. Existe alguna limitación con respecto al tamaño? Especifique.
6. Existe algún inconveniente con la transportación manual de los desechos hasta el biodigestor?
7. Existe algún inconveniente en cuanto al la manipulación del bioabono?
8. ud cree que el biodigestor traerá algún beneficio para la granja?

Anexo 11.

Ing. Francisco Pacheco.

17. Qué mecanismo propone ud. para transportar los desechos hasta el biodigestor?
18. Qué tipos de desechos cree ud. que puedan introducirse al biodigestor?
19. Qué variables hay que controlar durante el proceso?
20. Como se miden estas variables?.
21. Como se conducen los materiales desde la entrada hasta el interior del biodigestor?
22. Como se logra homogenizar la mezcla?
23. Como se puede almacenar el gas?
24. Que mecanismos se usan para sacar el bioabono de biodigestor?
25. Como distribuir el gas?
26. Como recuperar los líquidos sobrenadantes?
27. Que etapas tiene el proceso desde la obtención de la materia prima hasta la salida de los productos finales?
28. Que materiales recomienda para la construcción del biodigestor?
29. Cuales son las principales fallas que presenta un biodigestor?
30. Cuales son los riesgos existentes en un sistema de biodigestion?
31. Cuales son los instrumentos necesarios para el sistema de regulación y control?
32. Que pruebas se deben realizar al biodigestor para garantizar su buen funcionamiento?

Anexo 12.

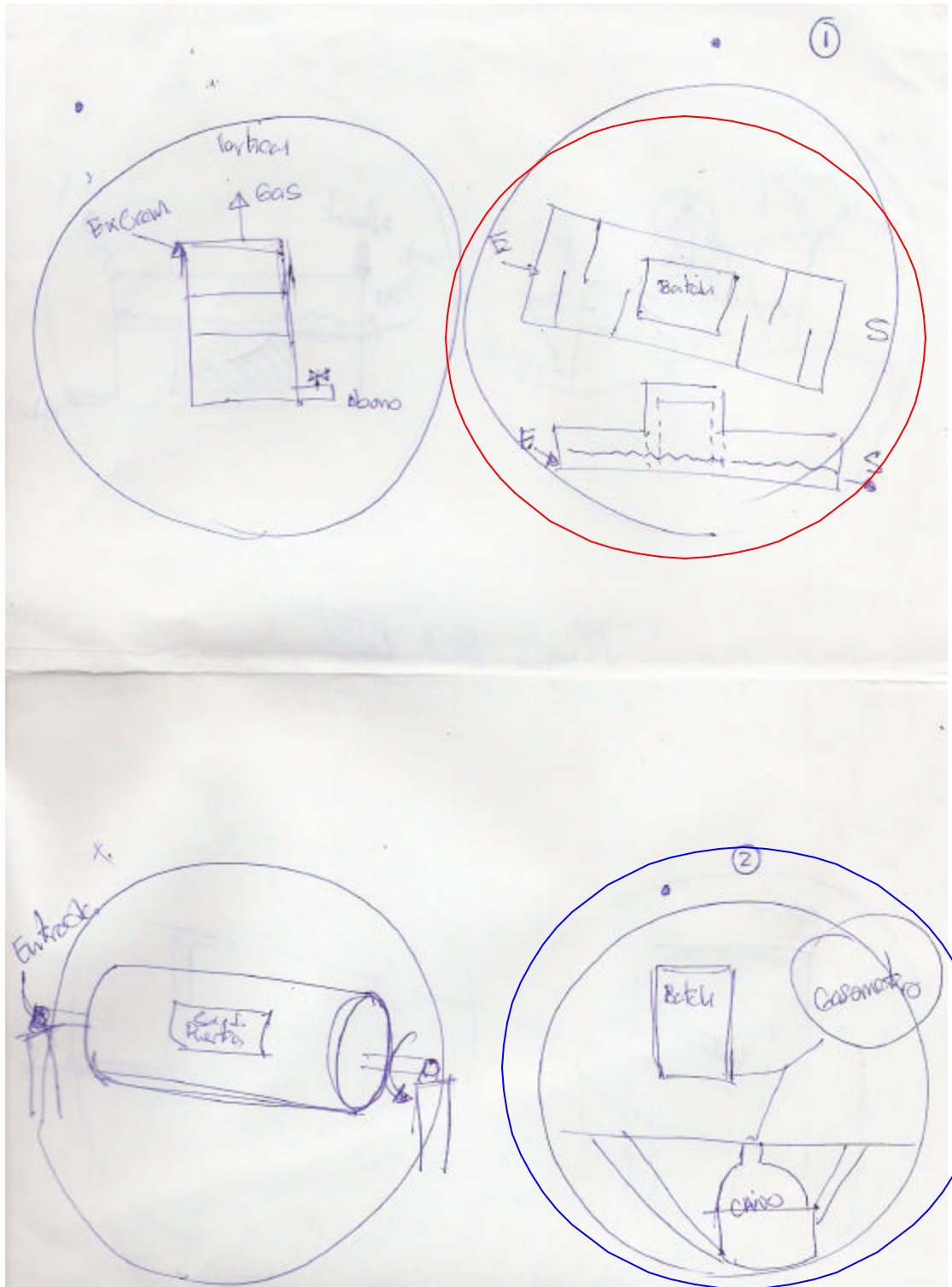
Dr. Iñigo Narbaiza

1. Qué tipos de desechos se producirán en la granja?
2. Qué tipos de desechos cree ud. que puedan introducirse al biodigestor?
3. Que uso se le podría dar al biogás?
4. Qué uso se le podría dar al bioabono?
5. Que uso se le podría dar al líquido producido?
6. Cuales son los datos bioclimaticos del ambiente?
7. Existe algún inconveniente en el transporte manual de los desechos hasta el biodigestor?
8. Existe algún inconveniente en cuanto a la manipulación del bioabono?
9. En que lugar se ubica la granja?

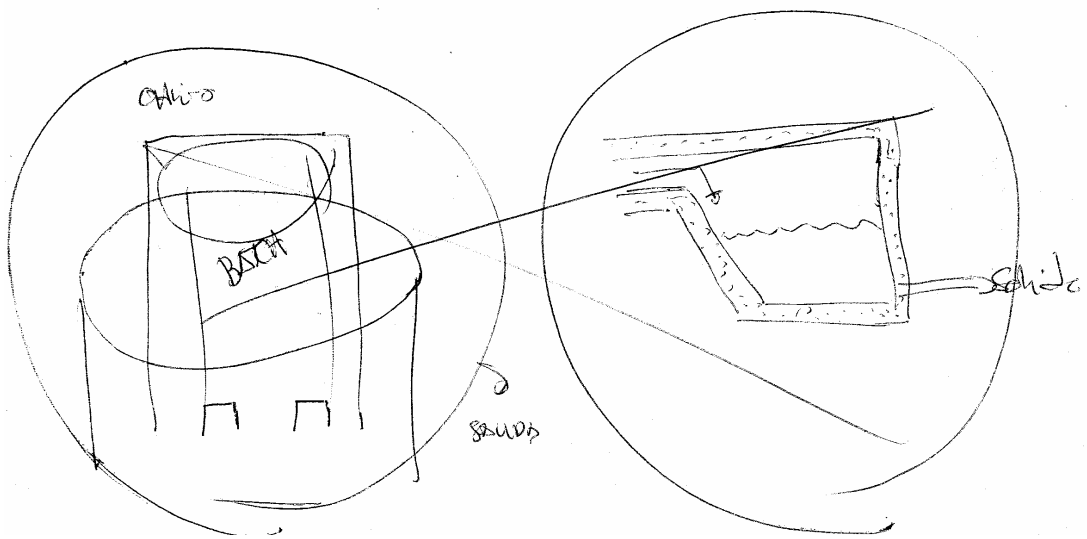
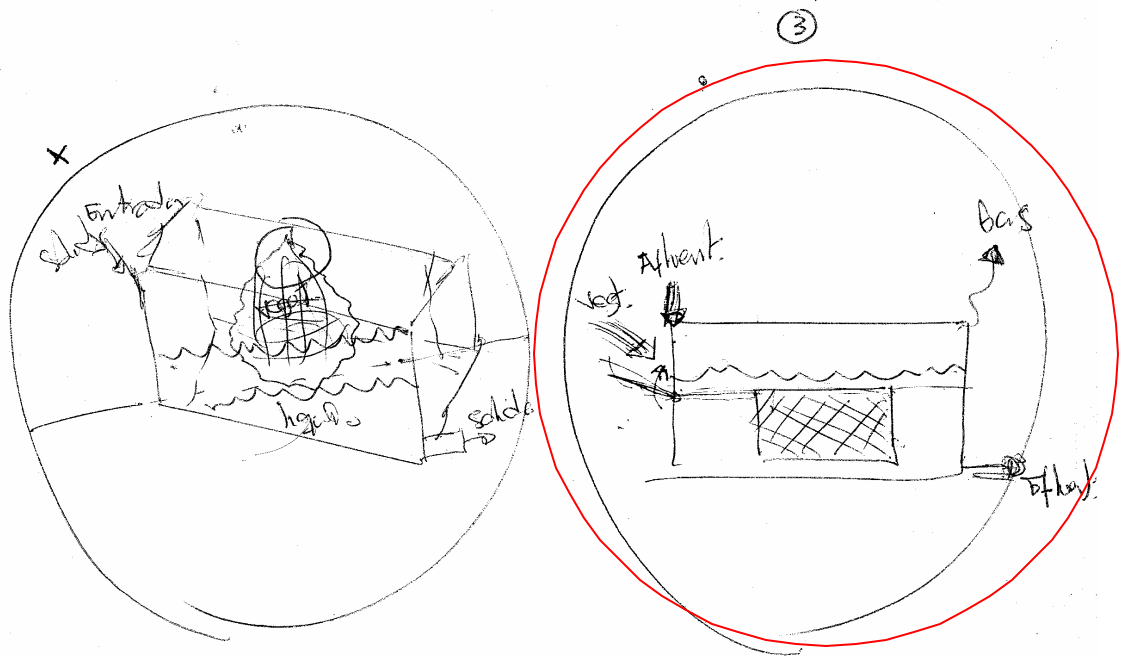
Anexo 13.

	Características	
	Requeridas	Deseadas
1. Características generales Lugar: Santa fe de Cinaruco Tipo de Granja: Granja autosustentable (piloto) Sistema de manejo de los desechos producidos en la granja Equipo de características rurales Beneficioso para la preservación del medio ambiente Bajo costo Fácil uso	X X X X X	X X
2. Condiciones de trabajo Temperatura ambiente: Promedio anual 2 jornadas de limpieza diaria. Retención de los animales encorales Sistema de limpieza de la granja por agua. Disponibilidad de agua abundante Ubicación del sistema: En las cercanías de los lugares de recolección de los desechos.	X X X X X	X
3. Salud Evitar focos infecciones Evitar alteraciones al ecosistema Evitar malos olores	X X X	
4. Construcción Mano de obra poca especializada. Materiales de fácil acceso en la zona: Bloques, tuberías PVC, concreto, adobe.	X	X
5. Otros parámetros Mantenimiento: mínimo y sencillo. Tiempo de vida: mínimo 10 años de operación. Capaz de adaptarse a la estética del proyecto. Seguridad: tan alta como sea posible. Trabajar sin presencia de energía exte rnas. Confiabilidad alta	X X X X	X X
6. Producción Biogás Bioabono		X X

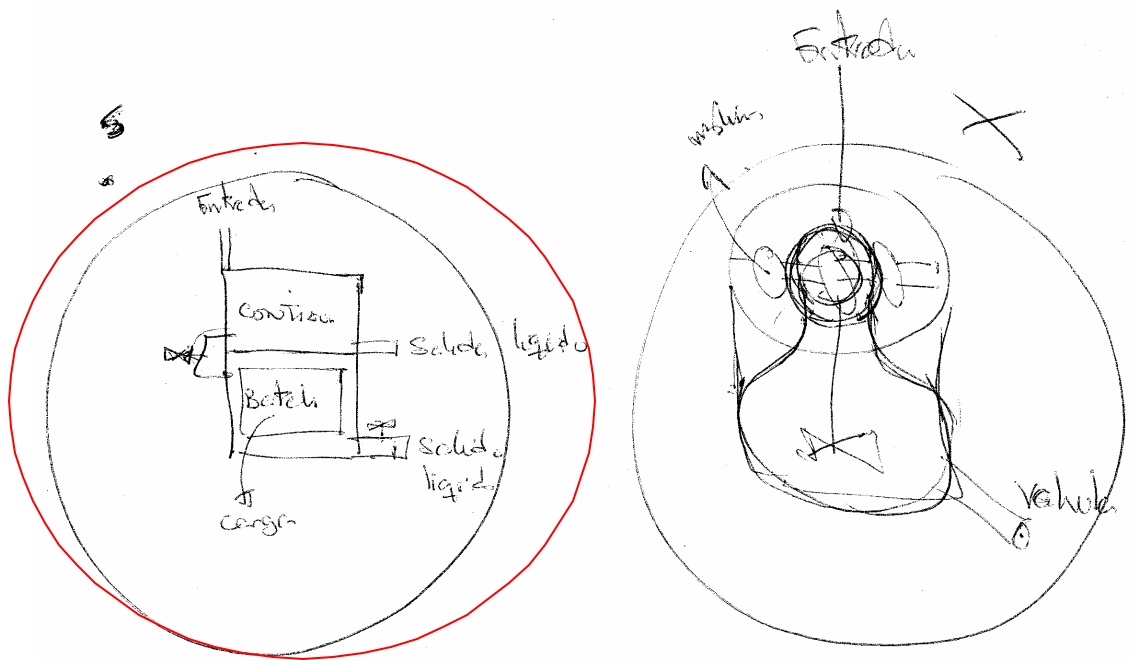
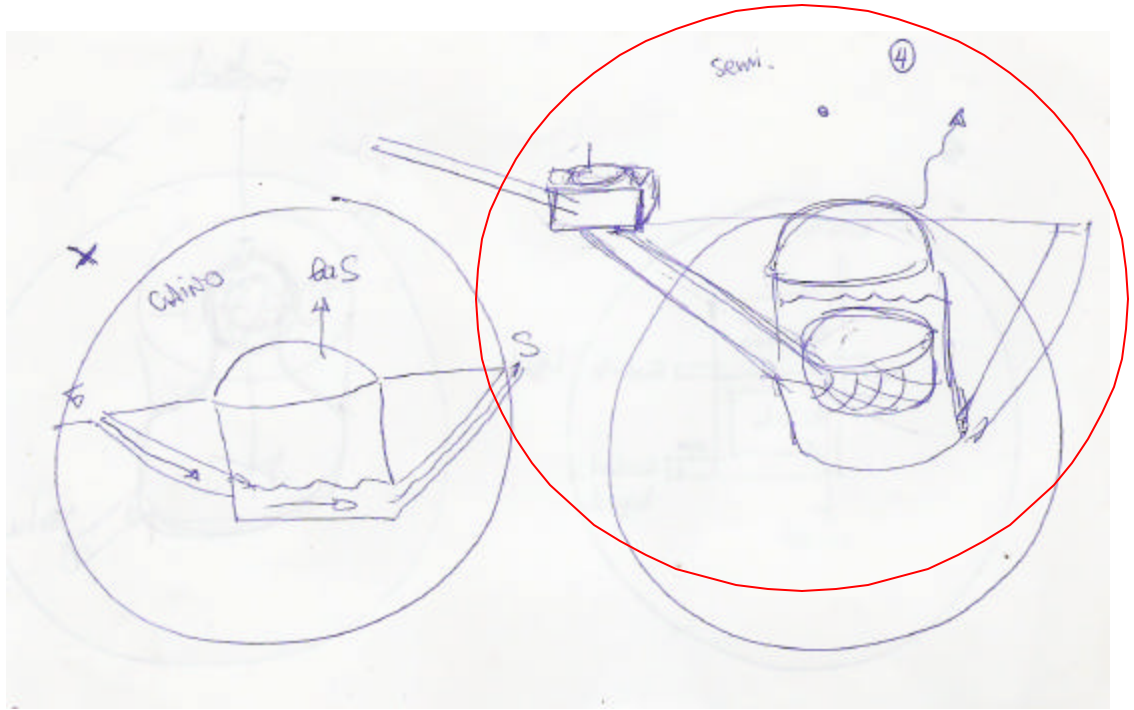
Anexo 14 especificaciones de diseño



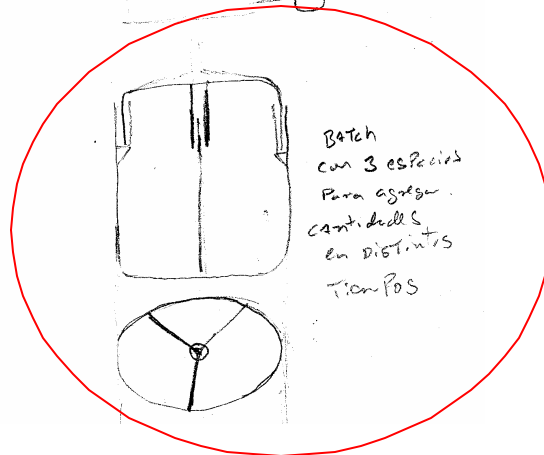
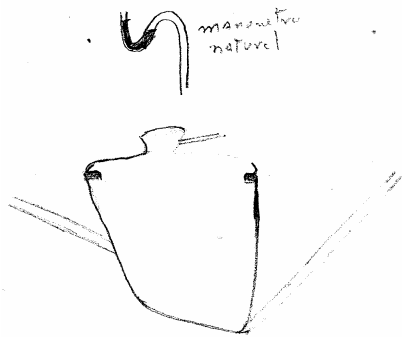
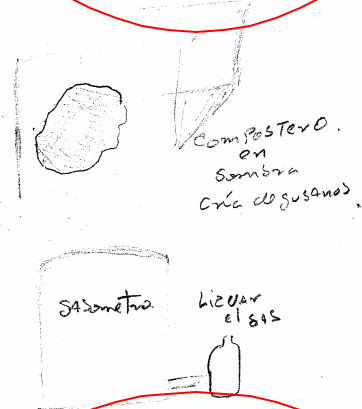
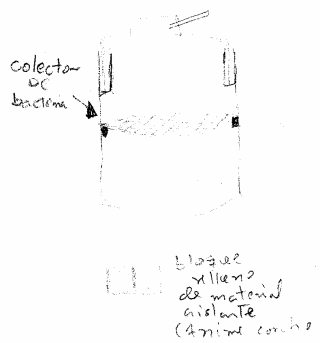
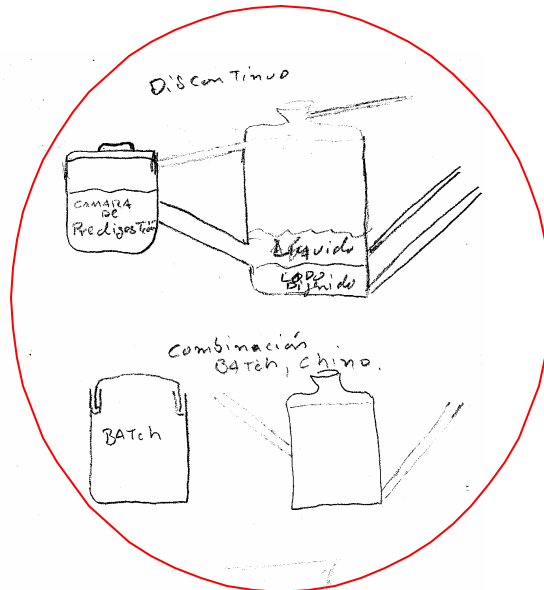
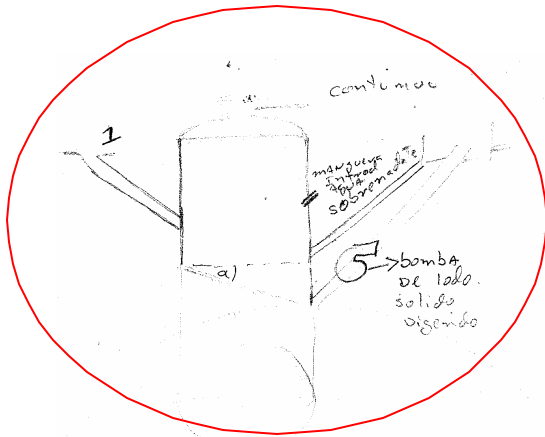
Anexo 15



Anexo 16.



Anexo 17.



Anexo 18.

DISTANCIA (m)	DIAMETRO (plg)	Dif . DE PRESIÓN (cm.c.a.)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL (m ³ /h)
50	1/2	0,5	2,94	1,34
50	3/4	0,5	3,60	3,69
50	1	0,5	4,16	7,60
100	1/2	0,5	2,10	0,95
100	3/4	0,5	2,55	2,61
100	1	0,5	2,94	5,36
200	1/2	0,5	1,47	0,67
200	3/4	0,5	1,80	1,85
200	1	0,5	2,08	3,79

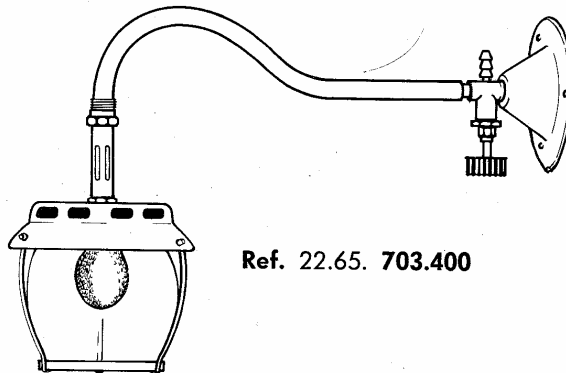
**Anexo 20. Características de conducción para los diámetros
mas comunes de uso rural**

PARAMETROS	% REDUCCIÓN
DBO	75
DQO	49
ST	73

**Anexo 21. Resultado de la digestión anaerobia de efluentes porcinos.
10 días de retención. 35 C. 5 % ST.**

PARAMETROS	% REDUCCIÓN
DBO	84
DQO	50
ST	22

**Anexo 22. Resultado de la digestión anaerobia de efluentes de aves.
20 días de retención. Carga 6 % ST.**



Ref. 22.65. 703.400

ASPECTOS GERAIS

O que é Biogás — Origem

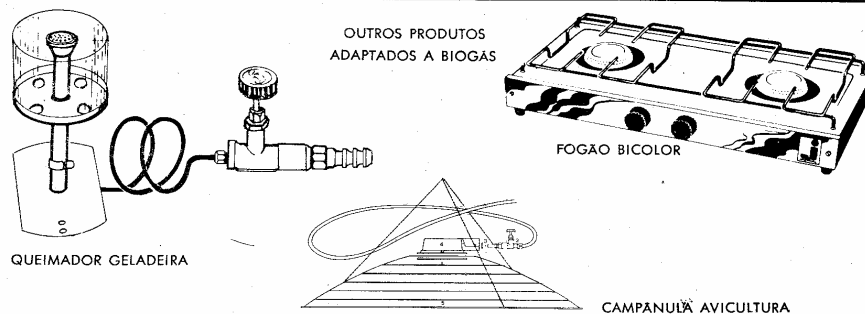
Em condições adequadas de umidade, pela fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, resíduos vegetais e lixo orgânico em geral, obtém-se um gás, conhecido por BIOGÁS. Sua composição básica é de cerca de 60 a 80% de metano (CH₄) e 40 a 20% de gás carbônico (CO₂). Seu grau de pureza é avaliado pela percentagem de metano. Quanto maior a concentração de metano, mais puro o biogás. Secundariamente poderão aparecer outros gases, entre eles o sulfídrico, em proporções de até 1,5%.

O poder calorífico do biogás varia de 5.000 a 7.000 Kcal/m³. Quanto mais puro o gás, maior o poder calorífico.

O processo de biodigestão anaeróbica para obtenção de biogás é conhecido de longa data. No entanto, só nos últimos anos, vem sendo estudada sua viabilidade econômica, em razão do encarecimento vertiginoso dos combustíveis tradicionais.

Mundialmente, a China foi o país que mais desenvolveu a aplicação do biogás no meio rural, visando resolver problemas de iluminação e cocção de alimentos a nível doméstico. Propala a instalação de 7,3 milhões de biodigestores.

Também a Índia tem um grande programa nesse sentido, possuindo agora 150 mil biodigestores e prevendo a instalação de mais 350 mil até 1983.



METALÚRGICA JACKWAL LTDA.

FABRICA: GRAVATAI - Distrito Industrial - Eixo Principal - Fones: (0512) 88.1422 - 88.1353 - Telex (051) 2847-LORY - C. Postal, 173 - End. Tel. JACKWAL - CEP 94000 - PS - ESCRITÓRIOS: SÃO PAULO - Rua Braz Cardoso, 674 - Vila Nova Conceição - Fone: (011) 61.8495 - Caixa Postal, 1886 - CEP 0459 - RIO DE JANEIRO - Av. 13 de Maio, 47, s/1102 - Largo da Carioca - Fone: (021) 220.2449 - CEP 20002 - RJ C.G.C.M.F. 92.782.366/0001-88 - INDÚSTRIA BRASILEIRA

MONTGOMERY NA ERA DO ...

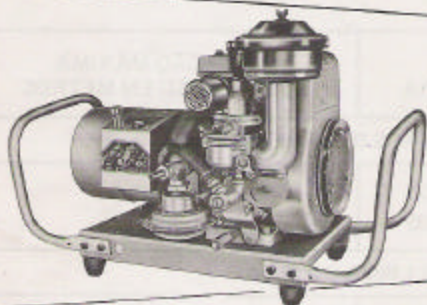
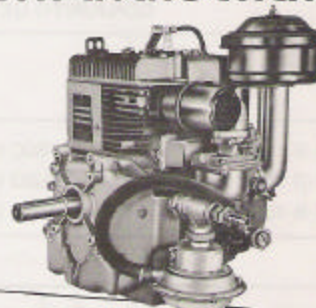
BIOGÁS

A REDESCOBERTA DE UMA ALTERNATIVA ENERGÉTICA.

MOTORES

MODELO	POTÊNCIA 3.600 rpm	CONSUMO DE GÁS * (M ³ /HORA)
R-137-F2	2,1 cv	0,92
R-320-F2	5,5 cv	2,24
R-480-F2	9,0 cv	3,16

* REGULADOS PARA TRABALHAR À PRESSÃO DO BIOGÁS DE 120 A 180 mm DE COLUNA D'ÁGUA

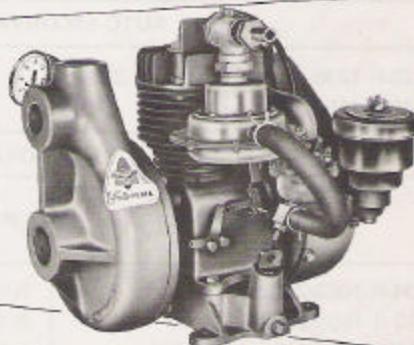


CONJUNTOS GERADORES DE ELETRICIDADE MONOFÁSICOS

MODELO	POTÊNCIA WATTS
GM-R-900	900 W - 110 ou 220 Volts - 60 Hz
GM-R-2500	2.500 W - 110 ou 220 Volts - 60 Hz
GM-R-4500	4.500 W - 110/ 220 Volts - 60 Hz

MOTOBOMBAS

Injetoras - Centrífugas - Auto-escorvantes



MONTGOMERY: UMA ESCOLHA CERTA

Outros produtos de nossa fabricação:
Motores a gasolina, álcool, querosene
e máquinas agrícolas



Motores Montgomery S.A.

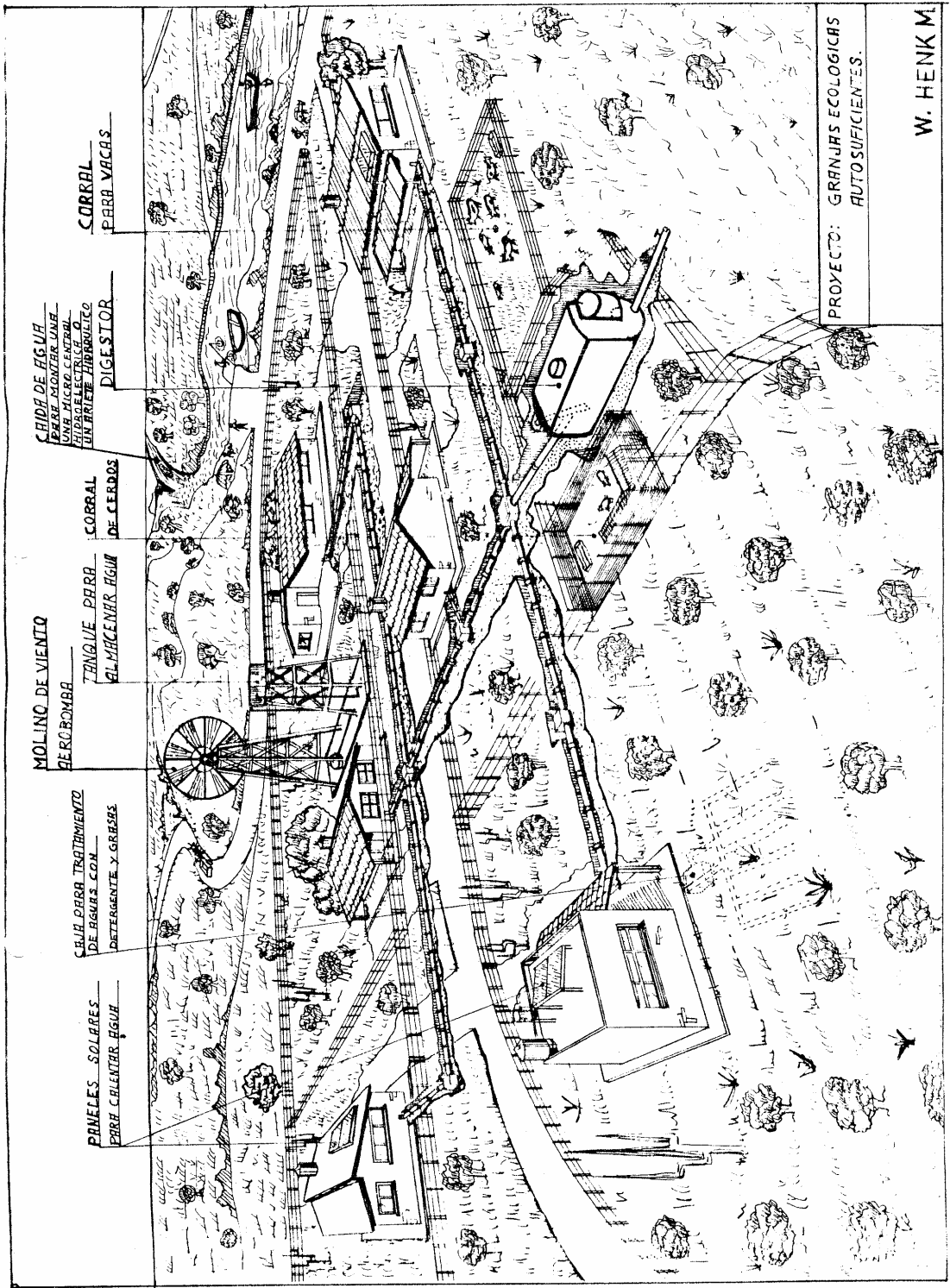
Indústria e Comércio

Avenida Presidente Wilson, 4589 - Telefones: PABX 273-7322
Vendas: 273-6647 - Ass. Téc.: 274-3550 - Caixa Postal 42478
Endereço Telegráfico "MONTGOMERY" - Telex (011) 23668 "MONT BR" -
CEP. 04220 - São Paulo - S.P. - Brasil

**REGULADOS PARA TRABALHAR À PRESSÃO DO
BIOGÁS DE 120 A 180 mm DE COLUNA D'ÁGUA**

MOTORES				
MODELO	POTÊNCIA 3600 rpm		CONSUMO DE GÁS (m ³ /hora)	
R-137-F2	2,1 cv		0,92	
R-320-F2	5,5 cv		2,24	
R-480-F2	9,0 cv		3,16	
CONJUNTO GERADORES DE ELETRICIDADE DE 900 A 4500 WATTS				
MODELO	POTÊNCIA WATTS		MOTOR POTÊNCIA A 3600 rpm	
GM-R-900	900 W – 110 ou 220 Volts – 60 Hz		R-137-F4 – 2,1 cv	
GM-R-2500	2500 W – 110 ou 220 Volts – 60 Hz		R-320-F5 – 5,5 cv	
GM-R-4500	4500 W – 110 e 220 Volts – 60 Hz		R-480-F7 – 9,0 cv	
MOTOBOMBAS				
MODELO	MOTOR	VAZÃO LITROS/HORA	PRESSÃO MÁXIMA SEM VAZÃO EM METROS	
CENTRÍFUGAS PARA POÇOS DE ATÉ 7 METROS DE PROFUNDIDADE				
MA10-R-2408	R-137-F10	7.500 a 10.000	28,5	
MB10-R-4007	R-320-F6	2.500 a 15.600	46,3	
AUTO-ESCORVANTES PARA ÁGUA LIMPA OU SUJA				
EA20-R-1230	R-320-F6	9.000 a 26.000	26,5	
EA30-R-1550		25.000 a 68.000	46,3	
INJETORAS PARA POÇOS PROFUNDOS				
MODELO	MOTOR	PROFUND. DO POÇO EM METROS	VAZÃO LITROS/HORA	PRESSÃO DE DESCARGA EM METROS
JA34-R-1003/2002	R-137-F10	7 a 31	975 a 3.650	16
JB10-R-1503/2502/3501	R-137-F10	7 a 40	650 a 4.050	20
JB10-R-1006/2004/3002/4501	R-320-F6	7 a 45	1.280 a 6.900	25

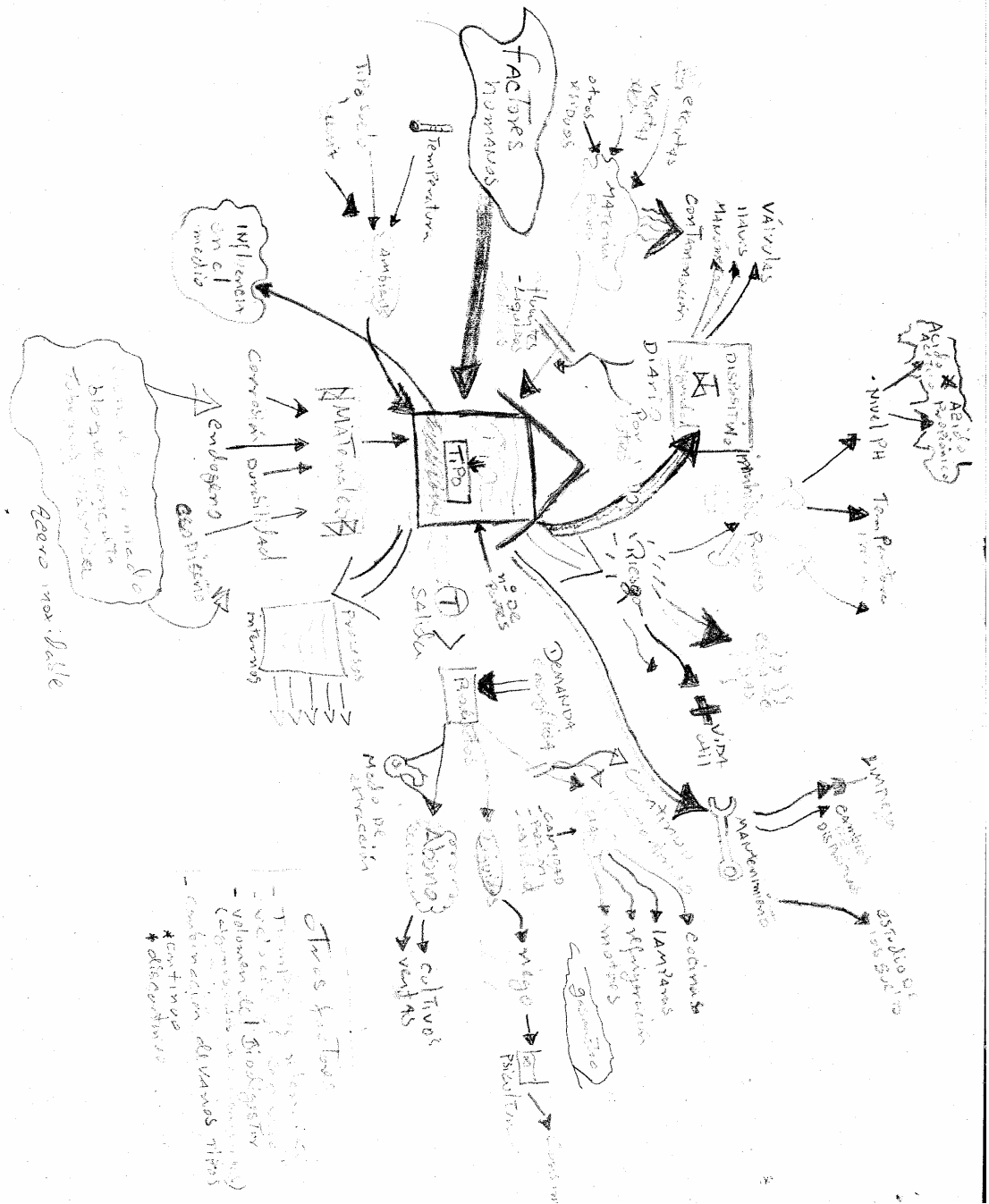
Anexo 25.



PROYECTO: GRANJAS ECOLOGICAS AUTOSUFICIENTES.

W. HENK M.

Anexo 26.



Anexo 27.

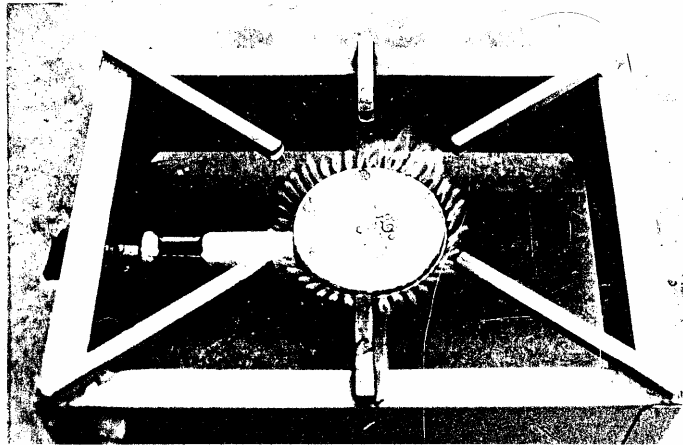


Figura 31 . COCINA COMERCIAL (Marca Rivergas) MODIFICADA PARA USARLA CON BIOGAS. UCV Facultad de Agronomía Planta de Biogas.

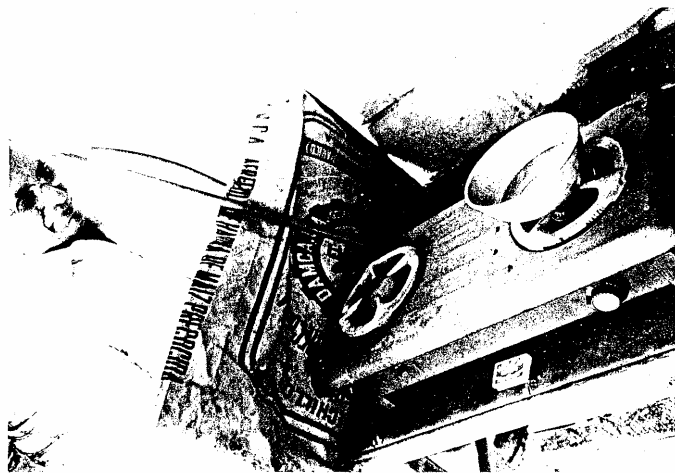


Figura 32 . UNA COCINA COMERCIAL (Marca no identificada) Y DISEÑADA PARA GAS LICUADO, MODIFICADA PARA USARSE CON BIOGAS. ASENTAMIENTO CAMPESINO "LA MOLINERA" San Francisco de Asís. Estado Aragua.

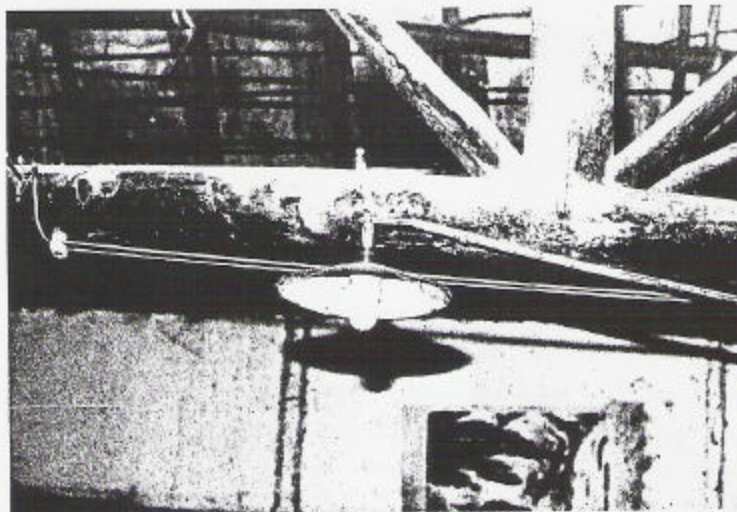


FIGURA 26. LAMPARA DE BIOGAS. Vivienda Campesina. Provincia de Sichuan. República Popular de China.

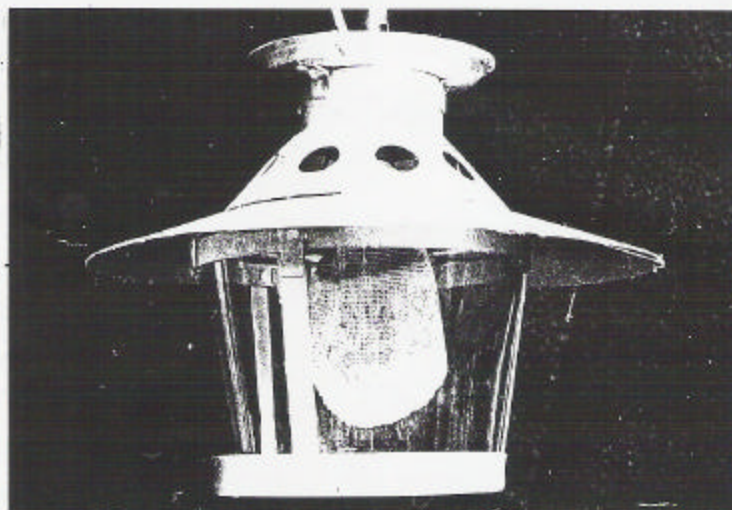
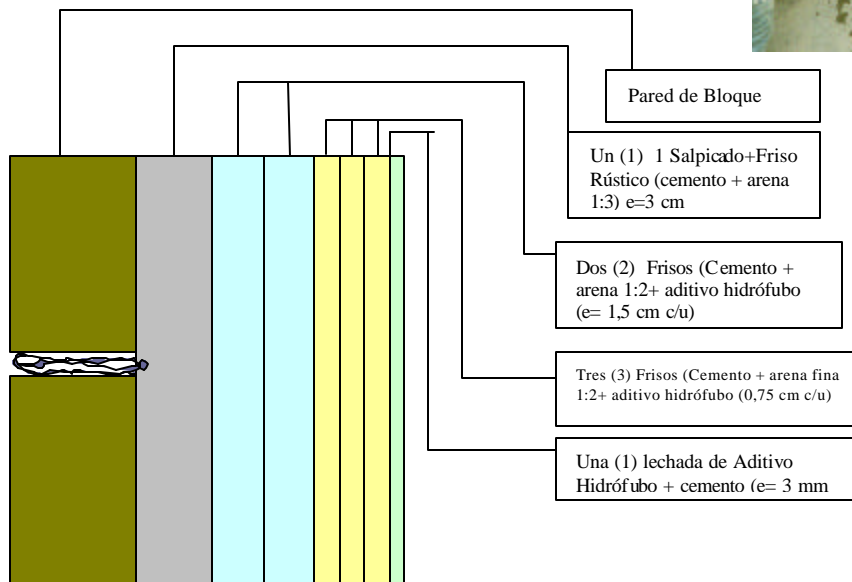


FIGURA 27. LAMPARA DE BIOGAS CONSTRUIDA EN LOS TALLERES DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA UCV. Maracay. Diseño basado en la lámpara "Tuojiang D 80-3".



Anexo 30. Detalle de La pared y los tipos de frisos a aplicar en un biodigestor