

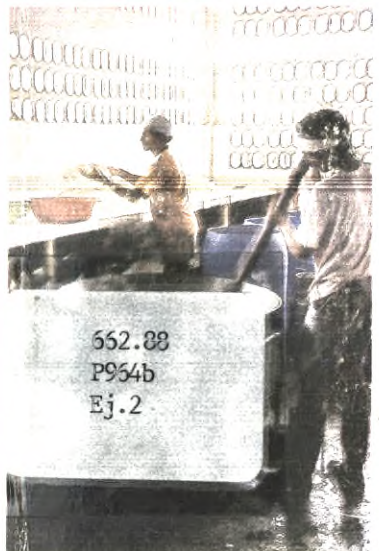
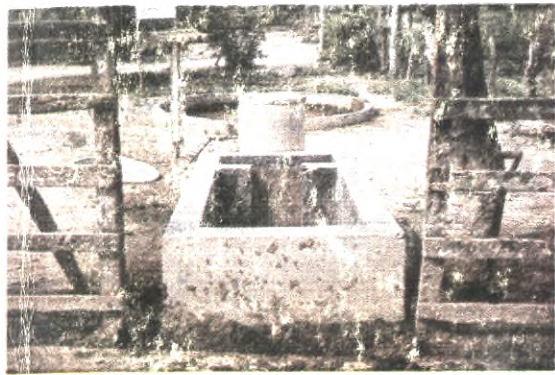
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

EL BIOGAS

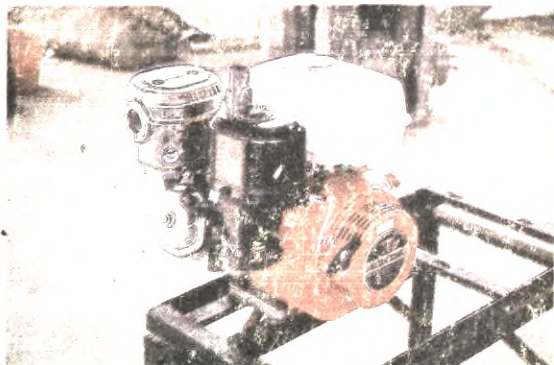


EL BIOGAS Y SUS APLICACIONES

443



662.88
P954b
Ej.2



1830

PROPIEDAD
cción Documentación
y Divulgación
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

662.85

P 964 c

81.2

194

194

EL BIOGAS Y SUS APLICACIONES

1830

PROPIEDAD

representación

de

y

PROLOGO

El hombre en su insaciable y cada vez más exigente búsqueda por las fuentes de energía para satisfacer su creciente necesidad de transformar el medio en el que se desenvuelve ha sido el directo causante de severos deterioros contra el medio ambiente.

La extracción de los combustibles fósiles, o no renovables, genera casi siempre deterioros ambientales probablemente irreversibles, infortunadamente este es el alto precio que se debe pagar por la obtención de los elementos que se han vuelto aparentemente insustituibles en la vida moderna.

Pero, por fortuna, no todas las explotaciones de energéticos causan deterioros ambientales, antes por el contrario la obtención de uno de ellos implica descontaminación ambiental, es el caso, por ventura, de la producción del **biogás**.

El **biogás** se obtiene mediante la descomposición de la materia orgánica de origen animal o vegetal, materia comúnmente conocida con el nombre de **biomasa**. Esta materia orgánica cuando se produce en cantidades apreciables, en las fincas, en los mataderos, en las rozas, en los potreros etc. se constituye a menudo en foco de infección y contaminación ambiental. De aquí que la disposición final de la biomasa en los biodigestores para la producción del **biogás** es una excelente práctica mediante la cual se obtienen tres importantísimas ventajas:

1) Descontaminación ambiental por la disposición final de la biomasa. Este efecto de descontaminación ambiental, quizá por lo intangible del hecho en sí, difícilmente puede valorarse en términos contables pero su efecto ventajoso sobre el medio ambiente es en muchos de los casos la principal razón para la instalación de biodigestores.

2) Desde el punto de vista energético, otra de las ventajas radica en la producción del **biogás** cuyo componente principal (70%) es el metano (CH₄). Tal como sale el biogás del biodigestor puede ser empleado en la cocina para la cocción de alimentos, atenuando de esta manera la presión sobre los materiales dendroenergéticos (madera, leña, carbón vegetal) en el área. El **biogás** se está utilizando también en la operación de motores adaptados para consumir este combustible. De otro lado, se están fabricando sencillas lámparas mediante las cuales se logra una adecuada iluminación con el **biogás**.

3) Finalmente, el **efluente**, o residuo que queda después de que en el biodigestor se descompone la biomasa, posee excelentes características fertilizantes que lo hacen excepcional para utilizarlo como tal. Además, es mucho más recomendable, por razones ecológicas, fertilizar con el efluente, el que dicho sea de paso es inodoro, que con la misma materia orgánica empleada directamente.

Reemplaza también fertilizantes químicos cuya producción y aplicación tiene consecuencias negativas para el medio ambiente.

Las anteriores tres poderosas razones hacen viable cualquier proyecto de utilización de los biodigestores en aquellos lugares en los cuales se produzcan desechos orgánicos, sobre todo, los de origen animal.

Como consecuencia de la creciente importancia que en los últimos años se le ha dado a la necesaria protección del medio ambiente, PESENCA se ha preocupado por la instalación y masiva difusión de la tecnología del biogás tanto dentro del país como fuera de él. El libro que aquí se prologa es el resultado de interesantes experiencias que PESENCA ha ganado durante largos años dedicados al diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento de varias decenas de plantas de biogás instaladas en el país.

Es interesante resaltar que el éxito de la tecnología radica fundamentalmente en el buen manejo de los biodigestores, de tal suerte que la mala experiencia que ha habido en el país es el resultado combinado de más entusiasmo que técnica y de un muy inadecuado manejo de los biodigestores.

Quien escribe estas líneas felicita muy sinceramente la labor que sus colaboradores en PESENCA han realizado en el diseño, construcción y mantenimiento de biodigestores y en el empeño que han puesto en ofrecer en este libro todas las experiencias ganadas.

Dr. HORST FINCK
Director PESENCA

INDICE

	PROLOGO	
1.	MARCO TEORICO	1
	Fermentación anaeróbica	1
	Material de fermentación	1
	Factores influyentes en el proceso	1
	Productos de la fermentación anaeróbica	4
	El biogás	4
	El efluente	4
2.	PLANTAS DE BIOGAS	6
	Componentes básicos	6
	Métodos de carga	6
	Clasificación de las plantas	6
	Planta de cúpula fija	6
	Planta con campana flotante	8
	Planta tipo balón	9
3.	PLANEACION Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE BIOGAS	11
	Recolección de datos preliminares	11
	Cálculo de la demanda de gas	12
	Cálculo del potencial existente	12
	Producción diaria de gas	12
	Dimensionamiento	14
	Biodigestor	14
	Depósito de gas	14
	Tanques de compensación y de mezcla	15
	Presión máxima de diseño	15
	Ejemplo práctico	15
4.	CONSTRUCCION DE BIODIGESTORES DE CUPULA FIJA	19
	Forma del biodigestor	19
	Calidad de los materiales	19
	Fases de construcción	19
	Preliminares	19
	Placa de cimentación	20
	Levantamiento de muros del biodigestor	20
	Tubos de carga y descarga	21
	Tanques de carga y compensación	22
	Impermeabilización y pañete	23
	Sello del biodigestor	23
	Tuberías de conducción del biogás	24
	Drenajes o trampas de agua	24
	Trampa de ácido sulfídrico (H ₂ S)	25
5.	OPERACION Y MANTENIMIENTO DE BIODIGESTORES	26
	Equipos de medición	26

	Medidores de presión	26
	Medidores de flujo	26
	Pruebas a realizar	26
	Prueba de permeabilidad	26
	Prueba de escapes de gas	28
	Operación y mantenimiento	29
	Problemas comunes de operación y funcionamiento	30
6.	APLICACIONES DEL BIOGAS	33
	Aparatos operados a biogás	33
	Estufas	33
	Lámparas	34
	Refrigeradores	35
	Calentadores radiantes	35
	Incubadoras	36
	Motores	36
	Conversión de motores diesel	36
	Conversión de motores de encendido por chispa	37
	Selección y operación del motor	37
	Consumo	38
	Mantenimiento y vida útil	38
	Purificación del biogás	38
7.	USOS DEL EFLUENTE	39
	Uso como fertilizante	39
	Formas de aplicación	39
	Efluente líquido	39
	Efluente compostado	39
	Efluente seco	40
	Dosis de aplicación	40
	Otros usos	42
	Ensayos realizados con el efluente	42
8.	RENTABILIDAD DE PLANTAS DE BIOGAS	45
	Datos necesarios en el análisis de rentabilidad	46
	Análisis de rentabilidad para plantas construidas en la Costa Atlántica	47
	Resultados	48
	Conclusiones	49
9.	ACTIVIDADES REALIZADAS POR PESENCIA EN EL CAMPO DEL BIOGAS	50
	Desarrollo del programa de biogás	50
	Plantas construidas	50
	Método de evaluación de plantas construidas	50
	Ensayos de laboratorio	53
	Ensayo 1. Producción de biogás a partir de diferentes materiales de carga	53
	Ensayo 2. Efectos de la relación agua: estiércol en la producción de biogás	53
	Divulgación	56
	BIBLIOGRAFIA	57

INDICE DE TABLAS

- | | |
|----------|--|
| Tabla 1 | Rangos de temperatura para la fermentación anaeróbica. |
| Tabla 2 | Efectos del pH en la producción de biogás. |
| Tabla 3 | Composición y propiedades del biogás y sus constituyentes. |
| Tabla 4 | Consumo de biogás para cocción. |
| Tabla 5 | Biogás en comparación con otros combustibles. |
| Tabla 6 | Consumo de biogás de diferentes aparatos. |
| Tabla 7 | Características de desechos animales y producciones estimadas de gas. |
| Tabla 8 | Indicadores para el ajuste de la llama. |
| Tabla 9 | Requerimientos para conversión de motores y modos de control. |
| Tabla 10 | Contenido porcentual de elementos nutritivos en efluentes de biodigestores (base de materia seca). |
| Tabla 11 | Guía de recomendaciones para la fertilización de diferentes cultivos en la Costa Atlántica. |
| Tabla 12 | Producciones promedio en ensayo con pasto Angleton. |
| Tabla 13 | Incrementos en las producciones de pasto de los tratamientos E1 y E2 con respecto al testigo. |
| Tabla 14 | Producciones totales del ensayo con pimentón. |
| Tabla 15 | Incrementos en las producciones de pimentón de los tratamientos E1 y E2 con respecto al testigo. |
| Tabla 16 | Resultados del análisis de rentabilidad. |
| Tabla 17 | Plantas de biogás construidas por PESENCA. |

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1 Etapas de la digestión anaeróbica.
- Figura 2 Planta de cúpula fija.
- Figura 3 Planta de desplazamiento horizontal.
- Figura 4 Planta de cúpula fija con domo suspendido.
- Figura 5 Planta de campana flotante tipo hindú.
- Figura 6 Planta de campana flotante con anillo de agua.
- Figura 7 Planta tipo balón.
- Figura 8 Método de construcción.
- Figura 9 Construcción del casco esférico.
- Figura 10 Colocación del tubo de carga.
- Figura 11 Nivel de construcción del tanque de compensación.
- Figura 12 Contrapeso de piedras y pasadores.
- Figura 13 Tipos de trampas de condensación.
- Figura 14 Comportamiento de la presión. Planta con escapes de gas.
- Figura 15 Comportamiento de la presión. Planta sin escapes de gas.
- Figura 16 Diagrama para prueba de fugas.
- Figura 17 Maneras de detectar la sobrecarga.
- Figura 18 Esquema de un calentador radiante.
- Figura 19 Producción específica de biogás de diferentes tipos de estiércol.
- Figura 20 Curvas de producción de biogás de estiércol de vacunos con diferentes relaciones agua-estiércol.

ANEXOS

- ANEXO 1 Glosario de términos
- ANEXO 2 Diseño de lámpara desarrollada por PESENCA
- ANEXO 4 Diseño de trampa de ácido sulfídrico
- ANEXO 5 Formatos para ejecución de plantas
- ANEXO 6 Estandarización de plantas de cúpula fija
- ANEXO 7 Metodología para el cálculo de materiales
- ANEXO 8 Factores de conversión
- ANEXO 9 Planos de biodigestores

1. MARCO TEORICO

Fermentación anaeróbica

Es un proceso biológico que consiste en la descomposición (o degradación) de desechos orgánicos por la acción de bacterias en un ambiente carente de oxígeno, durante el cual se produce la liberación de una mezcla de gas metano y dióxido de carbono, que se conoce como biogás.

El proceso se lleva a cabo en las siguientes fases:

1. **Solubilización o hidrólisis:** En esta fase, las bacterias descomponen la materia orgánica en compuestos orgánicos solubles, liberando también CO_2 y H_2 como productos.

2. **Acidificación:** Los compuestos orgánicos solubles son transformados en ácidos orgánicos volátiles como el acético, propiónico, etc. También el oxígeno del medio es eliminado, lo que es imprescindible para la tercera fase.

3. **Metanización:** Los ácidos orgánicos se descomponen produciendo la mezcla de metano (CH_4) y dióxido de Carbono (CO_2), conocida como biogás. Fig. 1.

Debido a que estas tres fases se realizan simultánea y continuamente, cualquier cambio brusco en el sistema puede romper el equilibrio entre ellas, e inhibir o detener el proceso.

Material de fermentación

Los desechos utilizados como materia prima pueden ser de origen animal, como estiércol de ganado vacuno, de cerdos, ovejas, caballos, aves, etc.; de origen vegetal, como pulpa del café, hojas de papa, desechos de banano, remolachas, cascarilla de arroz y otros; y de origen doméstico, consistentes en las aguas residuales de letrina y cocina, sin contenido de jabón.

Factores influyentes en el proceso

Temperatura

La temperatura realmente no afecta la producción absoluta de gas (que es dependiente de las características del substrato) sino más bien el tiempo necesario para que se dé totalmente. A medida que aumenta la temperatura también aumenta la actividad metabólica de las bacterias, requiriéndose menor tiempo de retención (TR) para que se complete el proceso de fermentación. Los rangos de temperatura adecuados para éste se señalan en la Tabla 1.

Si el tiempo de retención es demasiado corto, las bacterias son desalojadas del biodigestor más rápido de lo que pueden reproducirse, deteniéndose así el proceso.

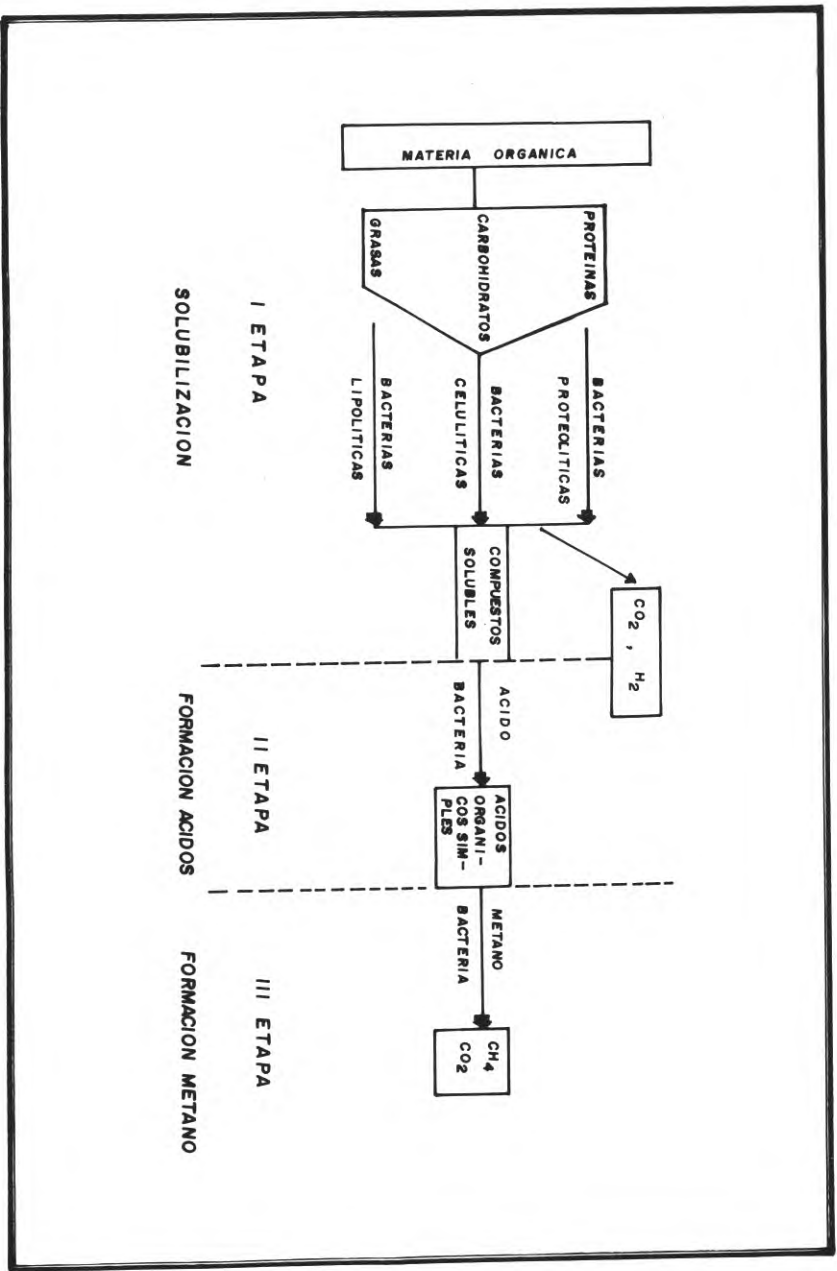


FIGURA 1. ETAPAS DE LA DIGESTION ANAEROBICA

TABLA 1

RANGOS DE TEMPERATURAS PARA LA FERMENTACION ANAEROBICA

Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo	Tiempo de Retención
Sicrofílica	4-10°C	15-18°C	25-30°C	Más de 100 días
Mesofílica	15-20°C	28-33°C	35-45°C	30 - 60 días
Termofílica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10 - 16 días

Fuente: OEKOTOP

Relación C/N

La relación C/N tiene influencia sobre la producción de gas. Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por Carbono (C) y Nitrógeno (N). Si el contenido de este último es excesivamente alto, la reproducción de las bacterias se inhibirá debido a la alta alcalinidad. Lo ideal es una relación C/N de 20:1 a 30:1. Relaciones menores, por ejemplo de 8:1, inhiben la actividad bacteriana por el excesivo contenido de amonio.

Niveles de amoníaco

Para un correcto desarrollo del proceso, la concentración de amoníaco en el material de fermentación debe ser menor de 2000 mg/l.

Sólidos totales

Los porcentajes más favorables de sólidos totales en el interior de un digestor de carga continua están entre el 5 y el 10%, ya que valores de 15% en adelante tienden a inhibir el proceso. Para una planta batch se pueden tener porcentajes hasta de 25%.

El pH

Las bacterias responsables del proceso son altamente sensibles a cambios bruscos en el pH. Este oscila entre 7.0 y 8.5 cuando el proceso se ha estabilizado, siendo los valores óptimos de 7 a 7.2. Índices menores de 6,2 tienen efectos tóxicos para las bacterias metanogénicas. A medida que disminuye el pH, cambia la composición del gas, decrece la producción de metano, aumenta el contenido de CO₂, y se producen olores desagradables por el aumento del contenido de H₂S. Tabla 2.

TABLA 2

EFFECTOS DEL pH EN LA PRODUCCION DE BIOGAS

VALOR pH	EFFECTO
7 - 7.2	Optimo
≤ 6.2	Retarda la acidificación
≥ 7.6	Retarda la amonización

Fuente: Difusión de la tecnología del biogás en Colombia

Sustancias inhibidoras del proceso

La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes pueden tener efectos inhibidores sobre el proceso de fermentación.

Productos de la fermentación anaeróbica

El biogás

Es el término usado para denominar una mezcla de gases que contenga aproximadamente un 60% de metano (CH_4) y un 40% de dióxido de carbono (CO_2). Usualmente, también incluye pequeñas cantidades de hidrógeno (H_2) y ácido sulfídrico (H_2S), nitrógeno (N), monóxido de carbono (CO) y trazas de agua (H_2O).

Algunas características del biogás se aprecian en la Tabla 3.

El poder calorífico del biogás depende de las proporciones de metano y dióxido de carbono. El metano es el principal componente energético, ya que el dióxido de carbono no contribuye en este sentido. El poder calorífico en condiciones normales es de aproximadamente 6 kWh/m^3 . El biogás, como cualquier otro combustible puede usarse en cocción, iluminación, refrigeración, generación de energía eléctrica y calentadores de lechones y pollos.

El efluente

Además del biogás, el proceso de fermentación anaeróbica deja como residuo un lodo bastante fluido que se conoce como efluente, el cual está constituido por la fracción orgánica que no alcanza a fermentarse, y por el material agotado.

Su composición química, el contenido de materia orgánica, y otras propiedades, dependen de las características de la materia prima utilizada y de factores ambientales.

TABLA 3

COMPOSICION Y PROPIEDADES DEL BIOGAS Y SUS CONSTITUYENTES
(0°C, 1013 mbar)

Constituyentes y propiedades	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	60% CH ₄ 40% CO ₂	65% CH ₄ 34% CO ₂ 1% rest.
Fracción de volumen	55-70	27-44	1	3	100	100
Valor calorífico neto (kWh/m ³)	9.9	-	3.0	6.3	6.0	6.8
Temperatura de ignición (°C)	650-750	-	585	-	650-750	650-750
Presión crítica (bar)	47	7.5	13	89	75-89	75-89
Temperatura crítica (°C)	-82.5	31	-240	100	-82.5	-82.5
Densidad normal (g/l)	0.72	1.98	0.09	1.54	1.2	1.15
Relación de densidad gas/aire	0.55	2.5	0.07	1.2	0.83	0.91
Poder calorífico (kWh/m ³)	13.4	-	-	-	6.59	7.15
Calor específico (KJ/m ³ °C)	1.6	1.6	1.3	1.4	1.6	1.6
Propagación de llama (cm/s)	43	-	47	-	36	38

Fuente: OEKOTOP, compilado de varias fuentes.

2. PLANTAS DE BIOGAS

Componentes básicos

Tanque de mezcla: Es una especie de caja de mampostería o concreto donde se realiza la mezcla de estiércol y agua, que luego se introduce en la cámara de digestión; a ésta última se une por medio del tubo de entrada.

Cámara de digestión o digestor: Es el recinto donde se produce la fermentación anaeróbica. Usualmente se construye en concreto o mampostería de ladrillo, exceptuando las plantas tipo balón, que son plásticas.

El gasómetro: Es la sección donde se almacena el gas; el digestor y el gasómetro pueden constituir un sólo cuerpo, o ser dos piezas separadas.

Tanque de descarga: Como su nombre lo indica, recibe el material digerido o efluente. En el caso de la planta de cúpula fija sirve, además, como tanque de compensación de presiones.

Métodos de carga

- **Tipo batch:** La planta se carga y se cierra por un tiempo de retención (TR) específico, hasta que cesa la producción de gas. No hay balance entre la materia orgánica y las bacterias, por lo tanto, no hay producción permanente de gas.

- **Tipo carga continua:** Este sistema consiste en realizar la carga periódicamente, generalmente a diario. La producción de gas es uniforme, y un poco mayor que con el sistema anterior.

Clasificación de las plantas

Las plantas sencillas de biogás se dividen en tres tipos básicos: de cúpula fija, de campana flotante y tipo balón. Los diseños de éstas varían constantemente.

Planta de cúpula fija

Su principal característica es que trabaja con presión variable. Consiste en un digestor cerrado en forma de bóveda esférica, con el gasómetro fijo e inmóvil. El gas se almacena en un volumen libre de la parte superior del digestor; cuando éste se llena, la presión desplaza el material de fermentación hacia el tanque de compensación. Si el consumo excede a la producción, el volumen ocupado por el biogás disminuye, y, por lo tanto, el substrato desplazado regresa al digestor. En consecuencia, la presión oscila dependiendo de la cantidad de gas almacenado en la parte superior del digestor. Fig. 2.

Presenta como ventaja la fácil consecución de los materiales de construcción a nivel local, la inexistencia de partes metálicas que puedan oxidarse, una larga vida útil, si se le da buen mantenimiento, y el ser subterránea.

Sus desventajas principales son que la presión del gas no es constante, y que la cúpula debe ser completamente hermética, lo que implica cierta complejidad en la construcción, y costos adicionales en impermeabilizantes.

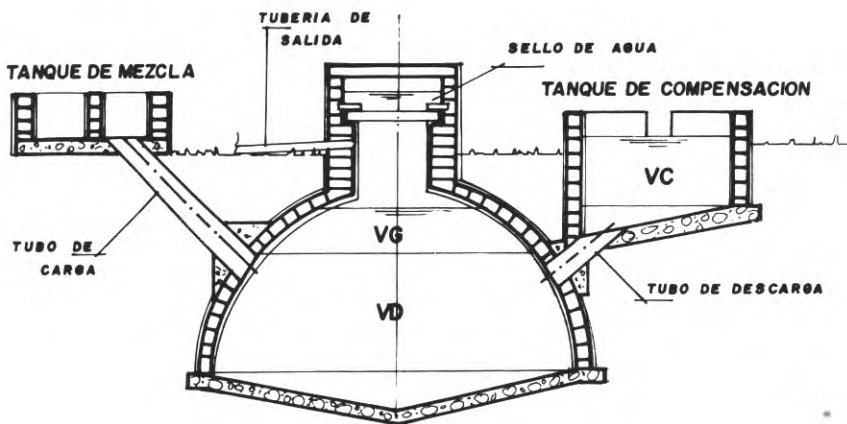


FIGURA 2. PLANTA DE CUPULA FIJA

VD = Volumen Util de Biodigestor

VG = Volumen Util de Almacenamiento de Gas

VC = Volumen Util de Tanque de Compensación

Algunas variaciones en este tipo de planta han dado como resultado otras alternativas como: el biodigestor en forma de túnel o de desplazamiento horizontal, recomendado para grandes volúmenes y sitios con nivel freático alto; y, la de cúpula fija, con domo suspendido, cuyo cimiento separado para la cúpula alivia las cargas en los muros, haciéndolo más seguro estructuralmente. Figs. 3 y 4.

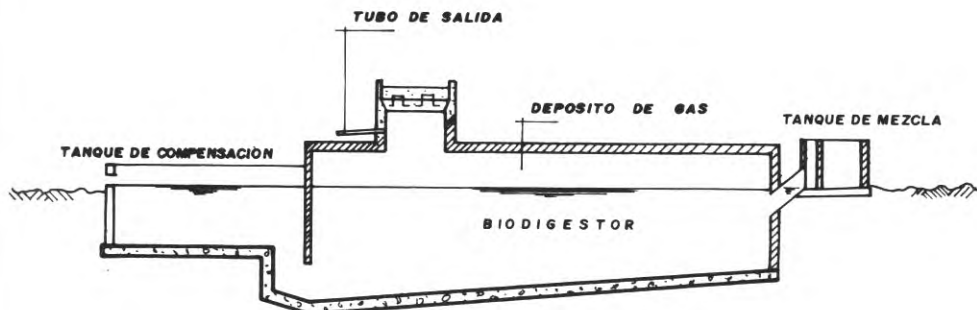


FIGURA 3. PLANTA DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL

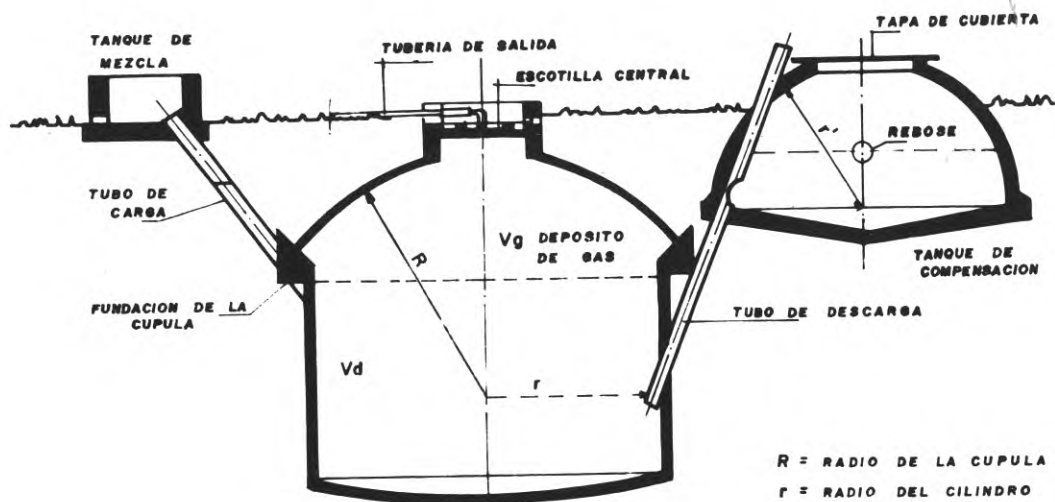


FIGURA 4. PLANTA DE CUPULA FIJA CON DOMO SUSPENDIDO

Planta con campana flotante

Este tipo de planta fue desarrollado en la India. Consiste en un digestor de forma cilíndrica o esférica, que se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana flotante; ésta puede flotar en la masa de fermentación (tipo hindú), o en un anillo de agua. Figs. 5 y 6.

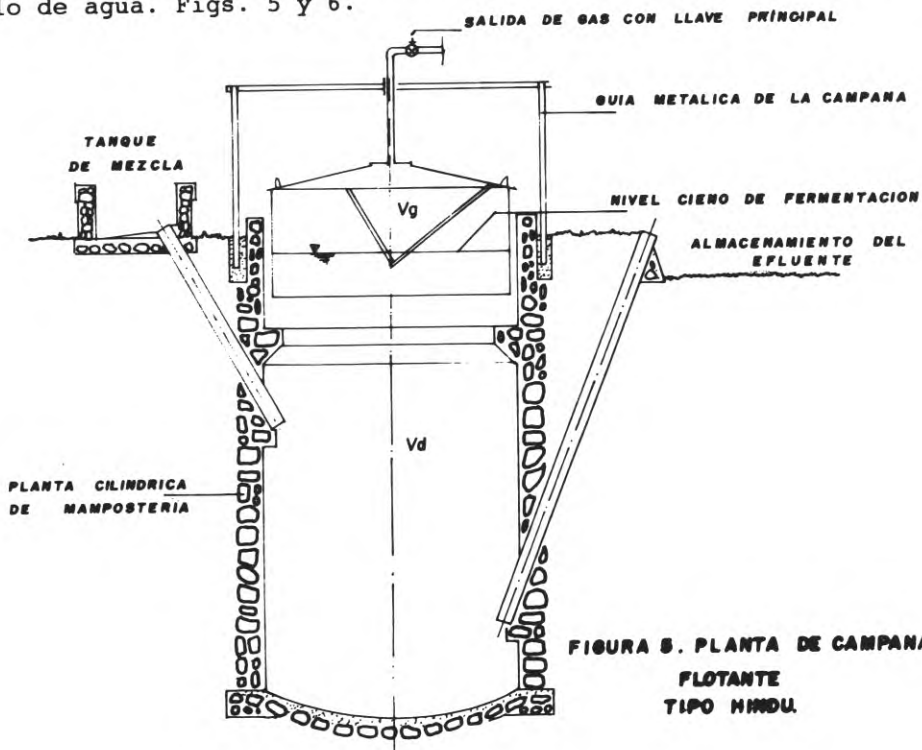


FIGURA 5. PLANTA DE CAMPANA FLOTANTE TIPO HINDU.

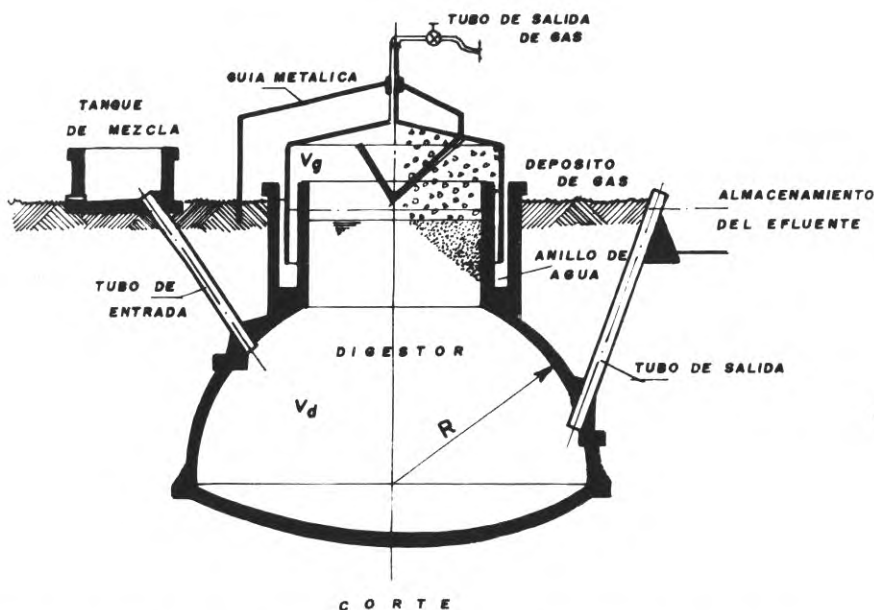


FIGURA 6. PLANTA DE CAMPANA FLOTANTE CON ANILLO DE AGUA

En este tipo de planta, el gas se acumula en la campana, haciéndola subir, y luego bajar, cuando aquél es extraído a través de un tubo instalado en la campana. Para evitar que ésta se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. La campana puede girar libremente, de tal manera que también cumple la función de romper la capa flotante que se forma en la parte superior del digestor.

Las ventajas de este tipo de planta son que trabaja a presión constante, y que se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana.

Está expuesta a la corrosión debido a que las campanas son generalmente metálicas (últimamente se ha experimentado con fibra de vidrio obteniéndose buenos resultados).

Además, presenta costos altos de construcción y de mantenimiento debido al uso periódico de pintura anticorrosiva.

Planta tipo balón

Consiste en una bolsa o balón plástico completamente sellado. El gas se almacena en la parte superior, aproximadamente un 25% del volumen total. Los tubos de entrada y salida están directamente sujetos a la pared de la bolsa. Fig. 7.

Esta planta funciona como una de cúpula fija, cuando la cámara de gas está llena.

El costo en relación con el digestor de cúpula fija se puede reducir en un 50% o más.

Este tipo de planta es recomendado donde el peligro de que se da-

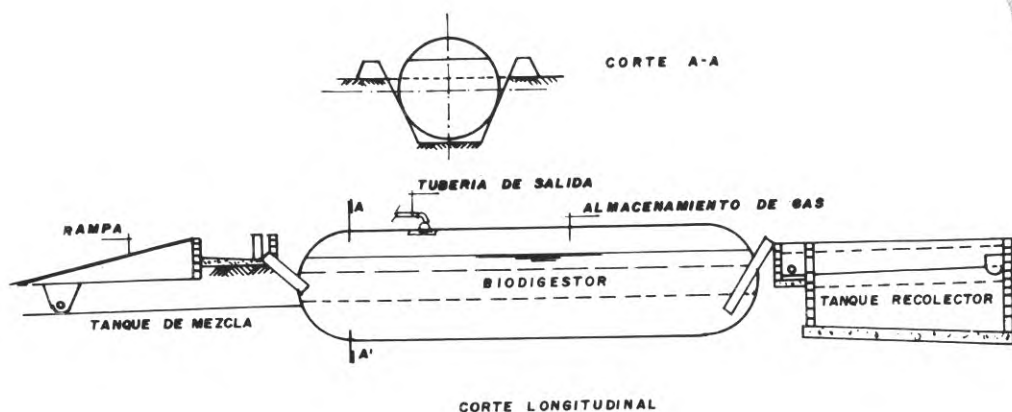


FIGURA 7. PLANTA TIPO BALÓN

ñe la bolsa es mínimo, y donde hay temperaturas altas y constantes. Su instalación es rápida y sencilla pero debido a su baja presión cerca de 15 cm de columna de agua es necesario colocarle sobrepesos al balón para aumentarla. Tiene una vida útil corta de aproximadamente 5 años.

El material plástico debe ser resistente a la intemperie, así como a los rayos ultravioletas. En Colombia se han obtenido buenas experiencias con Plastilona 500.

3. PLANEACION Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE BIOGAS

Al planear y diseñar un sistema de biogás, la consideración principal debe ser la necesidad primordial del usuario, la cual puede ser: la generación de biogás para uso energético, la disponibilidad de un fertilizante de alta calidad, o el mejoramiento de las condiciones higiénicas de su propiedad. Otros criterios de diseño son: las condiciones físicas del sitio de construcción y las limitaciones económicas.

Dependiendo de la necesidad primordial que va a satisfacer el sistema de biogás, variarán su diseño y las condiciones requeridas para el proceso. Así, si el objetivo es la generación de fertilizantes, el sistema debe diseñarse con suficiente capacidad para almacenar el efluente, hasta que sea usado, y contar con un sistema de manejo y repartición del mismo. Si se busca disminuir la contaminación que producen los desechos, se hará énfasis en lograr tiempos de retenciones mayores, y temperaturas altas.

Quando la principal necesidad es el uso del biogás como energético, la limitante es la cantidad de estiércol para producir el gas necesario que reemplace parcial o totalmente el combustible actualmente consumido; además, la capacidad de almacenamiento debe ser suficiente para suplir la demanda durante todas las horas de consumo.

Los principales pasos al planificar y dimensionar una planta de biogás son:

1. Recolección de datos preliminares.
2. Cálculo de la demanda de gas.
3. Cálculo del potencial existente.
4. Cálculo de la producción diaria de biogás.
5. Dimensionamiento.

Recolección de datos preliminares

Antes de decidir la construcción de un biodigestor en un lugar, se debe recolectar información para determinar si en el sitio existen las condiciones necesarias para el éxito del proyecto. Esta información debe proporcionar, además, datos específicos que permitan el diseño apropiado de la planta, si se decide finalmente su construcción.

Los datos a recolectar son:

- Temperatura promedio del lugar.
- Clase y número de animales (actuales y futuros).
- Tipo de alimentación de los animales.
- Peso vivo promedio.
- Tiempo de estabulación (horas/día).
- Indicaciones sobre el piso de los corrales: planchas de concreto, o suelo de tierra.
- Forma de recolección del estiércol, y sistema actual de tratamiento.
- Sistema de lavado de los establos, periodicidad y sistema de

desagüe.

- Tipo de terreno, nivel freático y cercanía a fuentes de agua.
- Topografía del posible sitio de construcción.
- Distancia al establo y al sitio de consumo.
- Fuentes actuales de energía y consumo promedio.
- Otros posibles usos para el biogás.
- Tipos de cultivos, y distancia al sitio de la planta.

Cálculo de la demanda de gas

Es la suma de los consumos presentes y futuros, los cuales se calculan por diferentes métodos, como se describe a continuación:

- Datos de la literatura sobre el consumo por persona/comida x número de personas (sólo en el caso de cocción). Tabla 4.
- Consumo presente de otros combustibles x biogás equivalente. Tabla 5.
- Número de aparatos x horas de operación x dato de consumo específico de biogás/aparato/hora. Tabla 6.

TABLA 4

CONSUMO DE BIOGAS PARA COCCION

PARA COCINAR	CONSUMO DE GAS	TIEMPO
1 Litro de agua	30 - 40 L	8 - 12 min
5 Litros de agua	110 - 140 L	30 - 40 min
3 Litros de caldo	aprox. 60 L	
1/2 kg arroz	120 - 140 L	aprox. 40 min
1/2 kg legumbres	160 - 190 L	aprox. 60 min
Consumo de gas por persona y comida	150 - 300 L/d	

Fuente: OEKOTOP

Cálculo del potencial existente

El potencial de estiércol diario se calcula con la siguiente fórmula:

Cantidad estiércol (kg) = Número de animales x peso vivo promedio (kg) x estiércol producido/kg peso vivo x No. horas de estabulación/24 horas

Producción diaria de gas

La cantidad de biogás producido en una planta de biogás depende de la rata de carga, tiempo de retención y tipo de desechos usados.

TABLA 5

BIOGAS EN COMPARACION CON OTROS COMBUSTIBLES

Combustible	Unidad	Poder calorífico kWh/u	Utilización	Rendimiento %	Poder cal. aprovech. kWh/u	Equival. en biogás m ³ /u	1 m ³ biogás = u/m ³
Boñiga	kg	2.5	cocción	12%	0.30	0.09	11.11
Madera	kg	5.0	cocción	12%	0.60	0.18	5.56
Carbón veget.	kg	8.0	cocción	25%	2.00	0.61	1.64
Carbón miner.	kg	9.0	cocción	25%	2.25	0.69	1.45
Butano	kg	13.6	cocción	60%	8.16	2.49	0.40
Propano	kg	13.9	cocción	60%	8.34	2.54	0.39
Diesel	kg	12.0	cocción	50%	6.00	1.83	0.55
	(L)		motores	30%	4.00	2.80	0.36
Corriente eléctrica	kWh	1.0	cocción	67%	0.67	0.20	5.00
			luz	9%	0.09	0.50	2.00
			motores	80%	0.80	0.56	1.79
Biogás	m ³	5.96	cocción	55%	3.28	1.00	1.00
			luz	3%	0.18	1.00	1.00
			motores	24%	1.43	1.00	1.00

Fuente: La Planta de Biogás. Ludwig Sasse.

TABLA 6

CONSUMO DE BIOGAS DE DIFERENTES APARATOS

EQUIPO	CONSUMO DE BIOGAS (L/hora)
Quemador doméstico	350 - 400
Quemador industrial	1000 - 3000
Lámparas de gas	140
Calentadores de lechones	250
Neveras a gas de 100 litros	30 - 80
Motor biogás - diesel	420
Producción de 1 kWh corriente eléctrica con mezcla de biogás-diesel	700

La literatura suministra datos promedios de producción específica de gas, dependiendo del tipo de estiércol, aunque éstos pueden variar dependiendo de las condiciones y tipo de ganado de la región. Tabla 7.

La producción diaria de gas estimada se calcula a partir de la siguiente fórmula:

Producción diaria (L) = cantidad estiércol (kg) x % materia seca orgánica x producción específica de gas (L/kg)

TABLA 7
CARACTERISTICAS DE DESECHOS ANIMALES Y PRODUCCIONES ESTIMADAS DE GAS

Clase de Animal	Cantidad diaria de		% del material de fermentación		Rango producción gas L/kg MSO	Promedio producción pas L/kg MSO
	Estiércol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	% MST	% MSO		
Vacunos	5	4	15.5	13	150 - 350	250
Cerdos	2	3	16	12	340 - 550	450
Caprinos	3	1.5	30	20	100 - 310	200
Ovejas						
Caballos	1	4	25	15	200 - 350	250
Aves	4.5	4.5	25	17	310 - 620	460
Humanos	1	2	20	15	310 - 640	450

MSO = materia seca orgánica

La experiencia ha demostrado que las producciones reales son menores que los valores promedios de producción específica que da la literatura; esto se debe a que los tiempo de retención (TR) escogidos son, casi siempre por razones económicas, menores a los requeridos para que se complete la fermentación; en sistemas simples se ha visto que las producciones reales varían de un 25% a un 30% de los datos que se encuentran en la literatura. (6)

Dimensionamiento

Biodigestor

El volumen del biodigestor depende del Tiempo de Retención (TR), y de la cantidad diaria de mezcla. El volumen se halla con la siguiente fórmula:

$$V = \text{Volumen de mezcla (m}^3/\text{día)} \times \text{TR (días)}$$

La mezcla diaria está compuesta del material de fermentación y de agua. Las proporciones de la mezcla son de 1:1, en peso, si la carga es manual, y varían de 1:2 a 1:3, cuando se usa el agua de lavado de establos o porquerizas para cargar la planta.

Depósito de gas

El volumen del depósito depende de la producción de gas y de la

cantidad que se utilice en las horas de consumo continuo.

La relación entre el volumen del depósito de gas (VG) y la producción diaria de gas (PG), se llama capacidad de almacenamiento, y es un dato importante para la planificación. Una capacidad adecuada evita gastos innecesarios en construcción por sobredimensionamiento, o desperdicio del gas producido por insuficiencia del gasómetro.

Los dos casos a considerar en el momento de dimensionar el depósito son:

a. El mayor número de horas de consumo continuo. El volumen de almacenamiento necesario sería:

$$VG \text{ (m}^3\text{)} = (\text{consumo horario} - \text{producción horaria}) \times \text{Número de horas}$$

b. El mayor tiempo entre consumos (generalmente las horas de la noche).

$$VG \text{ (m}^3\text{)} = (\text{Producción horaria}) \times \text{Número de horas}$$

Si el caso crítico resulta ser el anterior, se debe escoger entre la economía de un depósito que sólo almacene el gas necesario para suplir la demanda actual, o la posibilidad de ampliar los usos mediante un depósito capaz de almacenar la producción nocturna.

Para plantas de biogás pequeñas, la literatura recomienda simplificar el dimensionamiento del depósito de gas, utilizando un volumen de almacenamiento del 50 a 60% de la producción diaria, o utilizar un volumen que corresponda aproximadamente de 1/5 a 1/6 del volumen del digestor.

Tanques de compensación y de mezcla

En una planta de biogás tipo cúpula fija, el tanque de compensación tiene el mismo tamaño que el depósito de gas. El volumen del tanque de mezcla debe ser, como mínimo, igual al volumen de la mezcla con que se carga la planta diariamente.

Presión máxima de diseño

Las plantas de cúpula fija generalmente se diseñan para alcanzar presiones máximas de aproximadamente 1 a 1.4 m de columna de agua. La presión de trabajo está dada por la suma de la altura del depósito de almacenamiento de gas, y de la altura útil del tanque de compensación. Presiones excesivas causan grietas en la cúpula y, en consecuencia, escapes de gas.

Ejemplo práctico

El siguiente diseño corresponde a una planta de biogás de cúpula fija, cuyo objetivo principal es la producción del energético, el cual será usado para cocción por dos familias campesinas.

Lugar: Finca Santa Rita

Temperatura máxima diurna: 34° C

Temperatura mínima nocturna: 24° C

Temperatura promedio: 29° C

Cálculo de la biomasa disponible

Para la estimación del estiércol disponible, según el tipo y peso de los animales, usaremos la tabla No 7.

Animales	No.	Edad	PV (kg)	% estiércol x PV	estiércol (kg/d)
Vacas lecheras	50	3 años	400	20.000x5%	1000
Novillos	2	2 años	500	1.000x5%	50
Terneros	25	8 meses	100	2.500x5%	125
				Total	1.175

PV: Peso vivo promedio

Estabulación del ganado vacuno: 6 pm a 4 am = 10 horas
El estiércol diario disponible es $1.175 \times 10h/24h = 489,6$ kg/d.

Cálculo de la demanda de gas

Se usarán dos quemadores domésticos, con un consumo individual de 400 L/hora de biogás, en los siguientes horarios:

5:30 am a 8:30 am
11:00 am a 1:00 pm
4:00 pm a 6:00 pm

Total horas de consumo: 7 horas

Consumo total: 7 horas x 400L/h = 2800 L x 2 estufas = 5600 L

De acuerdo con la tabla 7: $5600 \text{ L}/(250 \text{ L/kg MSO}) = 22.4 \text{ kg MSO}$
 $22.4 \text{ kg MSO}/0.13 = 172.30 \text{ kg estiércol necesarios}$

En este momento debe decidirse entre usar todo el estiércol disponible, dejando abierta la posibilidad de ampliar los usos, o diseñar un sistema más económico, que supla solamente la demanda actual.

En este ejemplo usaremos 200 kg de los 489 disponibles.

Producción estimada de biogás

La producción de gas se calcula a partir de la materia orgánica existente en el estiércol. Según la tabla 7:

$200 \text{ kg estiércol/d} \times 13\% = 26 \text{ kg/día de materia orgánica}$
 $26 \text{ kg} \times 250 \text{ L/kg materia sólida orgánica} = 6500 \text{ L/día}$

Volumen de carga

Usando una mezcla con una relación estiércol:agua de 1:1, la cantidad de agua necesaria será de 200 kg.

Mezcla de Carga = 200 kg/d estiércol + 200 kg/d agua = 400 kg

Aproximando la densidad de la mezcla a la del agua, el volumen será de $0.4 \text{ m}^3/\text{d}$.

Dimensionamiento del digestor

TR (elegido) = 40 días

Volumen necesario: $0.4 \text{ m}^3/\text{día} \times 40 \text{ días} = 16 \text{ m}^3$

Para tener en cuenta el efecto del pañete, se aumenta el volumen de digestor en un 4%.

Vd sin pañete: $1.04 \times Vd$

$1.04 \times 16 \text{ m}^3 = 16.64 \text{ m}^3$

Ve: Vc = 10:1

Ve = 15.12 m^3 , Vc = 1.51 m^3

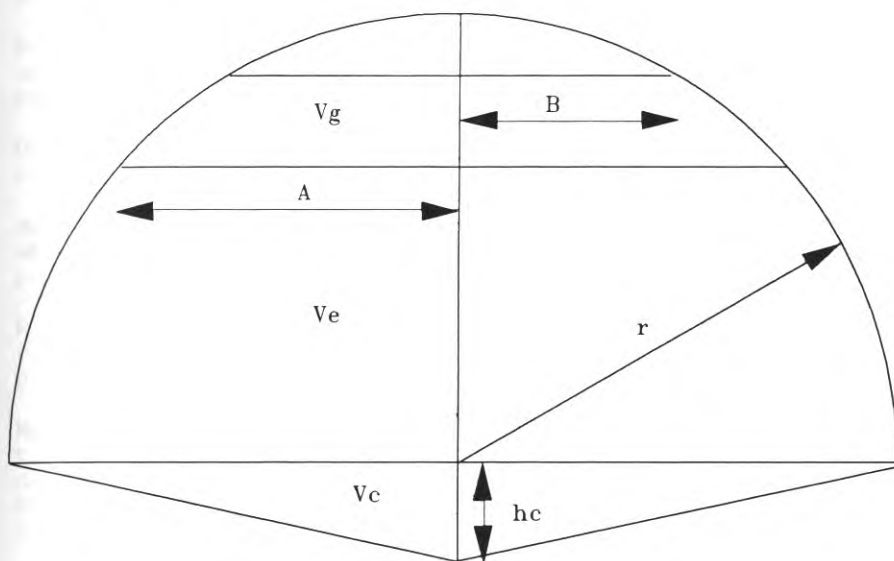


FIGURA 7A. ESQUEMA DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

$$r = (3 \times 15.12 / (2 \times \pi))^{1/3} = 1.93 \text{ m}$$

$$r \text{ elegido} = 1.95 \text{ m}$$

$$hc = r/5 = 1.95/5 = 0.39 \text{ m}$$

$$hc = 1.51 \times 3 / (\pi \times 1.95^2) = 0.38 \text{ m}$$

$$hc \text{ elegido} = 0.35 \text{ m}$$

$$Ve \text{ calculado} = 2/3 \pi \times 1.95^3 = 15.5 \text{ m}^3$$

$$Vc \text{ calculado} = \pi/3 \times 0.35 \times 1.95^2 = 1.39 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total de biodigestor} = 16.9 \text{ m}^3$$

$$\text{donde, } \pi \text{ es la constante} = 3.1416$$

Depósito de gas

Producción de gas/hora aproximada = $6.500 \text{ L-día}/24 \text{ h} = 270.83 \text{ L}$

Consumo horario de 2 estufas = $400 \text{ L/h} \times 2 = 800 \text{ L}$

El mayor tiempo de consumo está entre las 5.30 am y las 8.00 am.

El volumen necesario de almacenamiento para suplir la diferencia entre el consumo, y la producción horaria en este lapso de tiempo es:

$$VG = (800 \text{ L/h} - 270.83 \text{ L/h}) \times 3 \text{ h} = 1587.5 \text{ L} \text{ ó aprox. } 1.6 \text{ m}^3$$

EL mayor tiempo entre consumo es en la noche, de las 6:00 pm a las 5:30 am, o sea, 11.5 horas. El Volumen de almacenamiento necesario será, entonces:

$$VG = 11.5 \text{ h} \times 270.83 \text{ L} = 3114 \text{ L} \text{ ó sea } 3.1 \text{ m}^3$$

En este ejemplo se toma como volumen de almacenamiento de diseño la cifra de 3.1 m^3 con el fin de incrementar los usos.

$$Vg = \pi \times h/6 \times (3a^2 + 3b^2 + h^2)$$

Dejando un borde libre de 0.25 m y $h=0.6 \text{ m}$, se tiene que $a=1.6 \text{ m}$ y $b=0.95 \text{ m}$.

$$Vg = \pi \times h/6 \times [3 \times (1.6)^2 + 3 \times (0.95)^2 + 0.6^2]$$
$$Vg = 3.37 \text{ m}^3$$

El volumen final para este depósito de gas será de 3.37 m^3 , lo que nos da una capacidad de almacenamiento del 52%, la cual está dentro del rango recomendado.

Tanque de compensación

Será construido en forma cilíndrica.

$$Vg = Vtc = 3.37 \text{ m}^3. \text{ Altura útil} = 0.5 \text{ m}$$

$$3.37 \text{ m}^3 = \pi \times r^2 \times h$$

$$r = [3.37/(\pi \times 0.5)]^{1/2} = 1.46 \text{ m}$$

Tanque de mezcla

Volumen mezcla diaria: 0.4 m^3

Dimensiones necesarias: $b=0.7 \text{ m}$, $L=1.3 \text{ m}$, $h=0.45 \text{ m}$

Borde libre: 0.25 m

4. CONSTRUCCION DE BIODIGESTORES DE CUPULA FIJA

Forma del biodigestor

Una planta de biogás constituida por una estructura subterránea, está sometida a la presión de tierra, la presión hidráulica, el peso propio y el del material de carga. Las formas esféricas reparten las fuerzas externas en muchas direcciones, haciendo que los esfuerzos de reacción generados sean más pequeños, y la estructura menos susceptible a grietas. Fig. 2.

Calidad de los materiales

Se ha observado que la principal causa de grietas en el casco esférico, se debe a que los materiales utilizados no cumplen las especificaciones técnicas de calidad; por lo tanto, para evitar escapes de gas, debe supervisarse estrictamente su escogencia.

Piedra: Debe ser limpia, granítica, de tamaño y resistencia adecuada, e inalterable; no se deben emplear las de porosidad excesiva.

Cemento: Puede utilizarse Portland, de fabricación nacional. Debe ser de calidad y características uniformes.

Arena: La calidad de la arena debe ser uniforme y limpia. Nunca arcillosa, suave o disgregable, o con cuerpos extraños (basura, pajas, tallos, etc).

Ripio y grava: Como agregado grueso se usan grava tamizada, o roca triturada y lavada. Los tamaños de los agregados gruesos pueden variar entre $\frac{1}{2}$ " y $1\frac{1}{2}$ " (10 a 35 milímetros).

Mampostería: Los ladrillos usados para muros y cúpula son de tipo tolete; deben ser de primera calidad, sólidos, bien cocidos, de forma y dimensiones regulares, textura compacta, y sin terrones, rajaduras u otros defectos que afecten su resistencia y durabilidad.

Fases de construcción

A continuación se describirá el método de construcción para plantas de biogás de cúpula fija de forma semiesférica.

Preliminares

Limpieza del terreno: Debe removerse la capa vegetal del terreno, las raíces, los escombros y todo objeto que obstaculice las actividades de construcción.

Localización, trazado y replanteo: En el terreno se realiza el replanteo de la planta de biogás mediante el trazo de los ejes del biodigestor, y los tanques de mezcla y de compensación. Igualmente se trazan las líneas de excavación para colocar los tubos de carga y descarga.

Excavaciones: Las excavaciones se efectúan con un ancho mínimo igual al diámetro de la planta, más el espesor de la pared; y una profundidad igual al alto del biodigestor, más el grosor de la base de concreto, menos unos 50 a 60 cm. Estos representan la

altura a que debe sobresalir el digestor con respecto al nivel del suelo.

Al mismo tiempo deben abrirse las zanjas para la colocación de los tubos de carga y descarga (que van diametralmente opuestos, 180°, y con la inclinación como se muestra en los planos de construcción en el anexo 8).

Placa de cimentación

El suelo de la base del biodigestor debe compactarse bien; encima de éste se coloca una capa de piedra de 15 a 20 cm de espesor, bien juntas y apisonadas; sobre éstas se añade el concreto en una relación de 1:2:3 (cemento, arena y grava) y un grosor de 5 a 12 cm. La placa finalmente tendrá una altura de 20 a 25 cm. Preferiblemente se colocará la primera hilera de ladrillo sobre la placa, aún fresca, para lograr que se integren en un solo cuerpo.

En terrenos arcillosos la placa debe tener hierro de refuerzo, colocado radialmente a lo largo de toda el área circular; también es recomendable aislar el biodigestor mediante una camisa de arena, que disminuya las tensiones que pueda generar el terreno. Muchas veces se acostumbra hacer un anillo perimetral de concreto reforzado, de espesor igual al que tiene la base, para dar mayor estabilidad a la estructura.

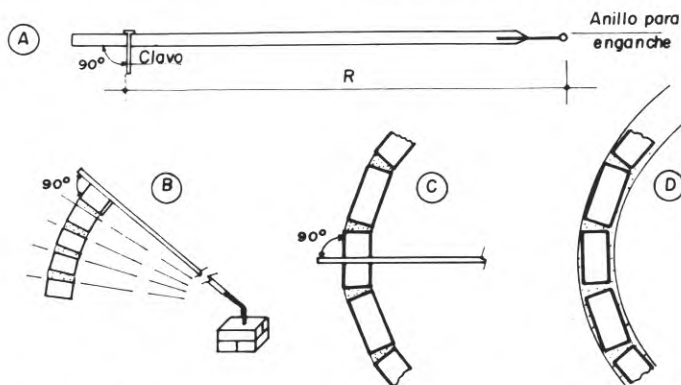
Levantamiento de muros del biodigestor

Los muros y el casco esférico se levantan usando ladrillos humedecidos; luego, con mortero de relación 1:3 (cemento-arena), se colocan bien trabados, para obtener un amarre fuerte.

Las hileras de ladrillo deben quedar correctamente niveladas y plomadas, no aceptándose errores mayores de 0.05%.

El espacio entre la pared y el pozo de excavación debe rellenarse con arena cada mañana, antes de continuar levantando las paredes; es necesario compactar esta arena lo mejor posible.

Para la construcción del casco esférico se utiliza una vara de



A=Vara en madera equivalente al radio. B C= Método de construcción usando la vara como guía.
D= Repello

FIGURA 8 . METODO DE CONSTRUCCION DE LA CUPULA

longitud igual al radio de la cúpula, que parte desde un punto central; para obtener la altura correcta de dicho punto se deben apilar ladrillos, unidos con un poco de mortero. Estos se retiran posteriormente.

Para levantar el muro no se necesita formaleta. Al levantarlo, es importante que los ladrillos sean colocados en ángulo recto, y al centro, con respecto a la vara.

El borde superior de los ladrillos debe ser paralelo al borde inferior de dicha vara. Fig. 8.

Al llegar a la parte superior del casco, cuando el ángulo de la vara con la horizontal sea de 45° , es necesario colocarle contrapeso al primer ladrillo de cada capa, hasta terminar el círculo. Las juntas deben quedar alternadas. Fig. 9.

La penúltima hilera de ladrillos debe colocarse de canto.

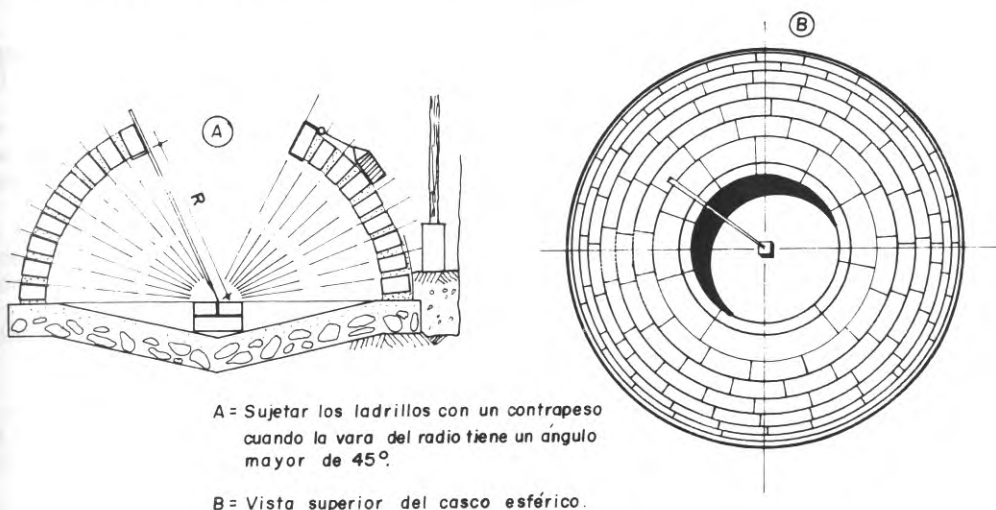


FIGURA 9. CONSTRUCCION DEL CASCO ESFERICO.

Tubos de carga y descarga

La colocación de los tubos de carga y descarga se realizará en el momento en que se estén levantando las paredes, y no cuando éstas estén levantadas; así se evita abrir huecos en la mampostería que, a la larga, debilitan la consistencia de la pared.

El tubo de carga debe ser recto, y su eje apuntar siempre al centro del digestor; de esta manera es más fácil remover y agitar el material de fermentación, lo que usualmente se realiza con la ayuda de una vara. Nunca debe pasar por la zona de almacenamiento de gas, para evitar escapes.

La boca de entrada debe sobresalir unos 5 cm del piso del tanque de mezcla, para evitar así que entren al digestor los sedimentos acumulados en el fondo. La boca de salida del tubo de carga debe

quedar a la altura del nivel máximo de almacenamiento de gas.
Fig. 10.

En cuanto al tubo de descarga, es necesario que su boca inferior quede a un nivel más bajo que la del tubo de carga, y su boca superior, a ras con el piso del tanque de compensación.

El cuello del biodigestor tendrá un ancho de 60 cm hasta la tapa inferior, y aumentará a 70 cm hasta la tapa superior.

Tanques de carga y compensación

El tanque de carga puede construirse en ladrillo o bloque, cuidando de localizar la base por encima del nivel de rebose del tanque de compensación.

La base del tanque de compensación tiene que ser construida al nivel de carga máxima, y nunca debe estar por encima de ese nivel, para no aumentar demasiado la presión. Si se construye sobre suelo arcilloso, necesitará hierro de refuerzo y un anillo de concreto con refuerzo perimetral a su alrededor. Esto le dará mayor estabilidad, y evitará grietas en la base y paredes.

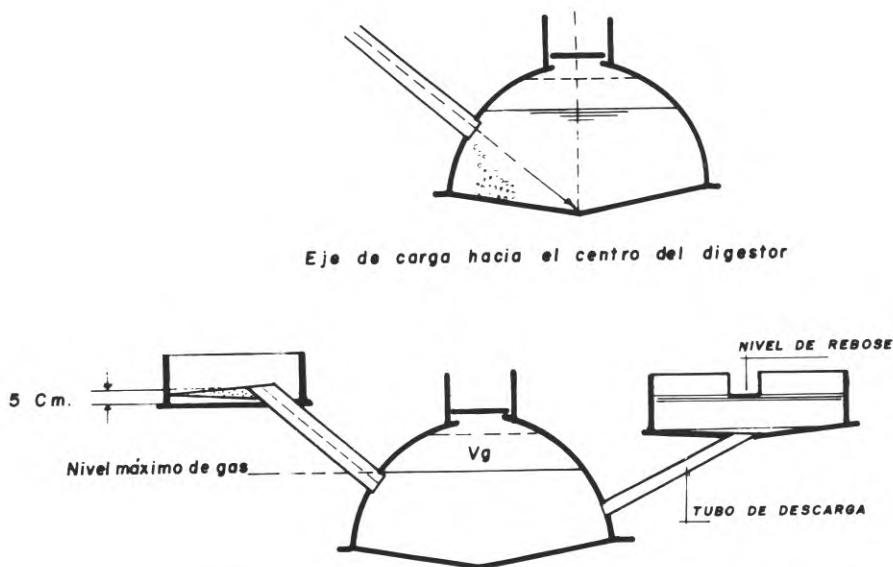


FIGURA 10. COLOCACION DEL TUBO DE CARGA

La altura útil del tanque se escogerá de tal manera que la presión máxima de gas sea aproximadamente de un metro de columna de agua. No deben construirse tanques muy profundos, para que las presiones no sean tan altas. Fig. 11.

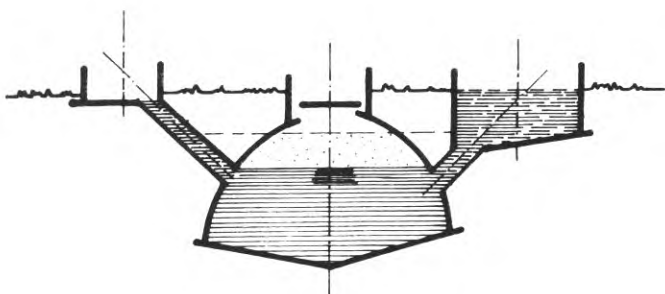


FIGURA 11. TANQUE DE COMPENSACION A ALTURA CORRECTA

Impermeabilización y pañete

El pañete de las paredes constituye una labor muy importante, especialmente en digestores donde pueden presentarse problemas de filtración de líquidos, y escapes de biogás.

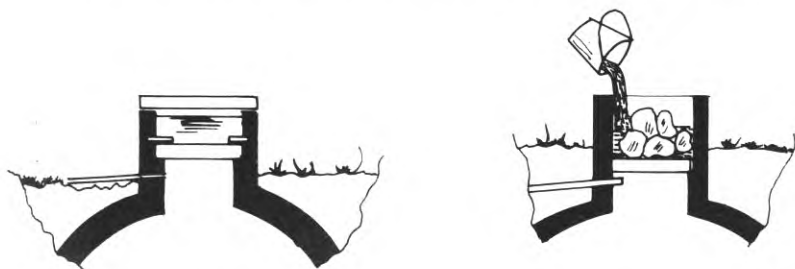
Antes de aplicar el pañete, se revisará la superficie a cubrir. Las grietas, los hormigueros y el concreto defectuoso, se picarán y repararán con mortero impermeabilizante.

En las uniones de las paredes con la placa de base, se recomienda hacer mediascañas que luego se rellenarán con el mortero ya mencionado, tanto en el digestor como en el tanque de compensación. Se aplicarán mínimo tres capas de mortero con impermeabilizante químico, hasta completar 3 cm de espesor.

En las partes de contacto entre el PVC y la mampostería se debe tener especial cuidado, ya que pueden presentarse filtraciones en esta zona; por lo tanto, también es necesario rellenar dicha unión con mortero impermeabilizante.

Sello del biodigestor

Una vez concluida su construcción, el biodigestor debe ser tapado herméticamente; con este fin se elabora una tapa de concreto de



A.) Pasadores de seguridad en escotilla central

B.) Contrapeso de seguridad con piedras

FIGURA 12. CONTRAPESO DE PIEDRAS Y PASADORES

10 cm de espesor, la cual se sella en sus bordes con una pasta compuesta de arcilla, cemento y un impermeabilizante químico; en esta mezcla debe evitarse el uso de barro común, ya que no garantiza un sello seguro. Para mayor seguridad, la tapa debe pintarse con el fin de evitar las fugas de gas. Se deben colocar algunas piedras sobre la tapa para resistir la presión del gas, o colocar pasadores de hierro en las paredes del cuello, que son mucho más estéticos. Fig. 12.

El cuello se llena con agua para que la arcilla no se seque y agriete; además, la presencia de burbujas en el anillo de agua es una gran ayuda para detectar escapes por el sello de la tapa. Por último, se colocará otra tapa de concreto con agarraderas.

Tuberías de conducción del biogás

Aunque pueden utilizarse tuberías de hierro, cobre o caucho, es preferible emplear tuberías de PVC, con diámetros de 3/4" a 1". Ningún tubo debe quedar a nivel; siempre hay que procurar tener una pendiente de por lo menos 1% hacia el sitio correspondiente.

El tubo de salida de gas en el biodigestor debe instalarse unos 25 cm más alto que el nivel de rebose del tanque de compensación, para evitar el peligro de que, en caso de sobrecarga, se tapone por el material de fermentación.

Cuando los tubos son de PVC o de caucho, es necesario protegerlos de los rayos solares, que precipitan su deterioro.

Drenajes o trampas de agua

El vapor de agua que contiene el biogás se condensa en gotas que se depositan en los puntos más bajos de las tuberías de conducción, acumulándose hasta dificultar, o muchas veces impedir, la circulación del gas. Ese inconveniente se elimina con la colocación de trampas de agua en esos lugares.

Se construyen de distintos materiales y formas, y pueden consistir en una simple llave a prueba de fugas, un separador de agua con rebose, o un sencillo tubo en U, con una longitud algo mayor que la equivalente a la presión de diseño expresada en cm de columna de agua. Fig. 13.

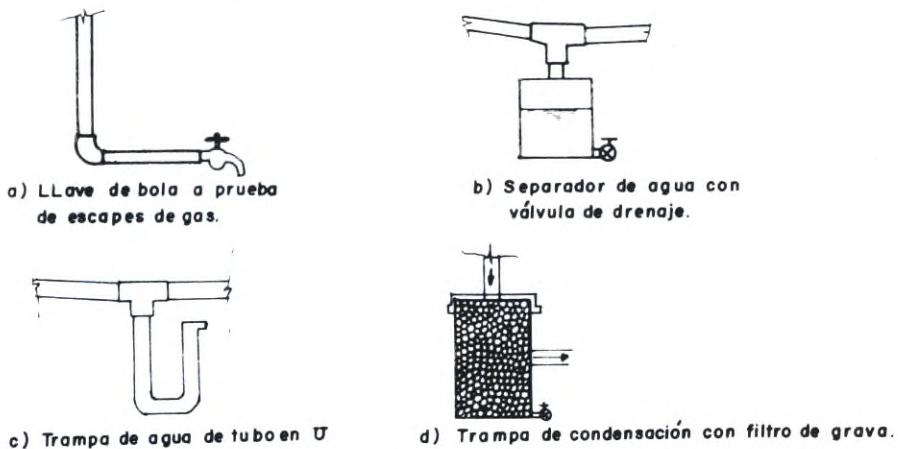


FIGURA 13. TIPOS DE TRAMPAS DE CONDENSACION

Las trampas también actúan como válvulas de seguridad que permiten la salida del gas, cuando la presión excede la máxima calculada para el digestor. Debe verificarse cuidadosamente la longitud del tubo de la trampa, ya que si ésta es insuficiente, permitirá pérdidas innecesarias de gas.

Trampa de ácido sulfídrico (H_2S)

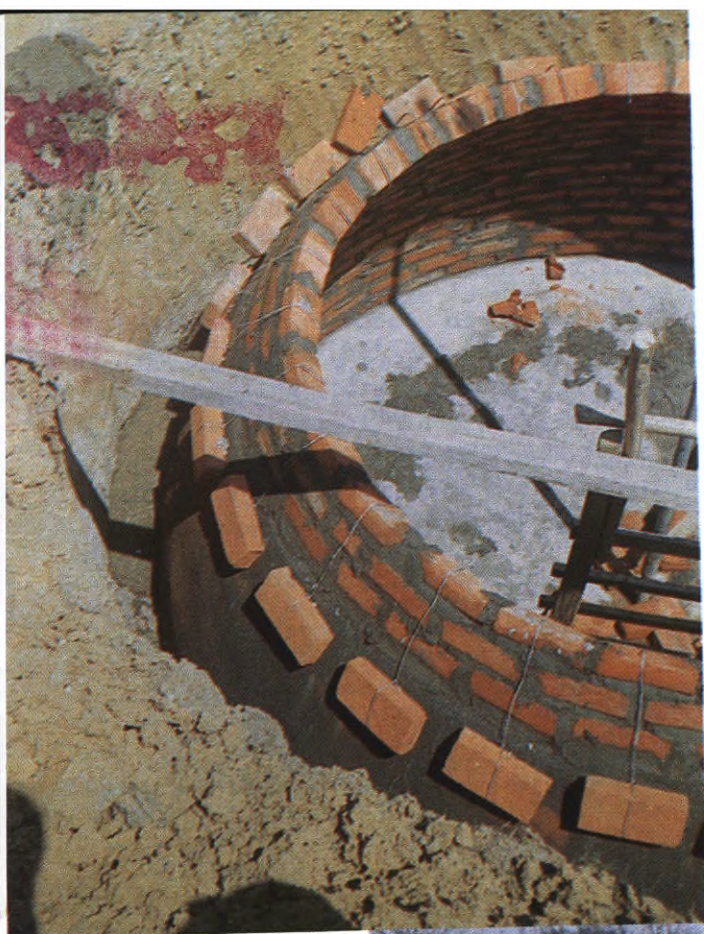
Para proteger de la corrosión a las estufas y demás aparatos operados con biogás, se instala un filtro de ácido sulfídrico en la tubería de conducción, antes del sitio de uso.

Esta trampa consiste en 2 uniones universales y un niple de 2 a 3" de diámetro, relleno con esponjilla o limadura de hierro. También sirve como trampa de no retorno de llama. Anexo 4.

Proceso de construcción de una Planta de Cúpula Fija



Base del Biodigestor



Construcción de la cúpula

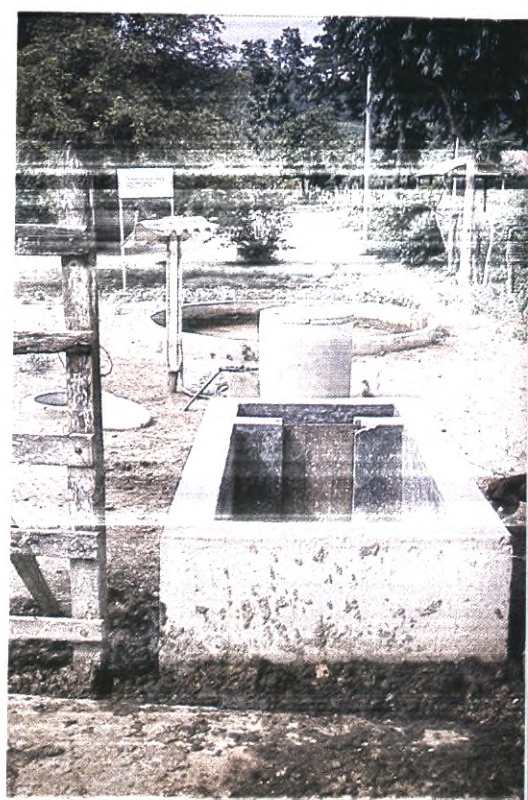


Digestor y Tanque

Base del Cuello del digestor



Cuello del digestor



Planta de Bioqas terminada

5. OPERACION Y MANTENIMIENTO DE BIODIGESTORES

El buen funcionamiento y la vida útil de una planta de biogás depende generalmente de una buena operación y un mantenimiento adecuado. Por esto, es imprescindible que los técnicos no se limiten exclusivamente a sus tareas de construcción e instalación de aparatos, sino que, además, proporcionen al usuario la capacitación requerida para manejar su planta correctamente, detectar los problemas de funcionamiento más comunes, y saber cómo resolverlos rápidamente. Sólo así se podrán obtener los máximos beneficios de ella.

Equipos de medición

Medidores de presión

Una vez terminada la construcción de la planta deben instalarse medidores de presión para controlar la presencia de escapes. Para mejorar la operación y eficiencia de los equipos operados con biogás, es recomendable controlar permanentemente la presión de trabajo.

La medición de la presión se realiza con un manómetro sencillo que consiste en una manguera transparente en forma de U, agarrada a un soporte de madera; a cada lado de ésta se colocan dos escalas graduadas en cm. Por medio de una Tee se conecta un extremo de la manguera a la tubería principal de conducción del biogás, el otro extremo puede permanecer libre. La manguera se llena entonces con agua, preferiblemente coloreada, y la presión se establece mediante la diferencia en cm de columna de agua entre la lectura de las dos escalas.

Medidores de flujo

Pueden instalarse a la salida del digestor, o cerca al sitio de consumo. Permiten establecer el consumo de gas y, si se requiere, la producción diaria de la planta.

Pruebas a realizar

Cuando la experiencia en la construcción de plantas de biogás sea poca, es recomendable que antes de comenzar a cargar se realicen pruebas para detectar fugas en la cúpula, y verificar la impermeabilidad del digestor y del tanque de compensación; después de cargado el digestor será más difícil y dispendioso poder detectar cualquiera de estas fallas.

Prueba de permeabilidad

La prueba se realiza para detectar filtraciones en las placas de fondo, las paredes del biodigestor y el tanque de compensación; este tipo de problema ocasiona debilitamiento de los ladrillos y, además, de presión considerables.

Para la prueba del digestor, éste se llena de agua hasta la boca superior del tubo de descarga, y se observa si baja su nivel. En la revisión de la placa de fondo del tanque de compensación, el nivel del agua debe llegar a la intersección del cono con las paredes, y hasta el nivel de rebose, para verificar el estado de los muros.

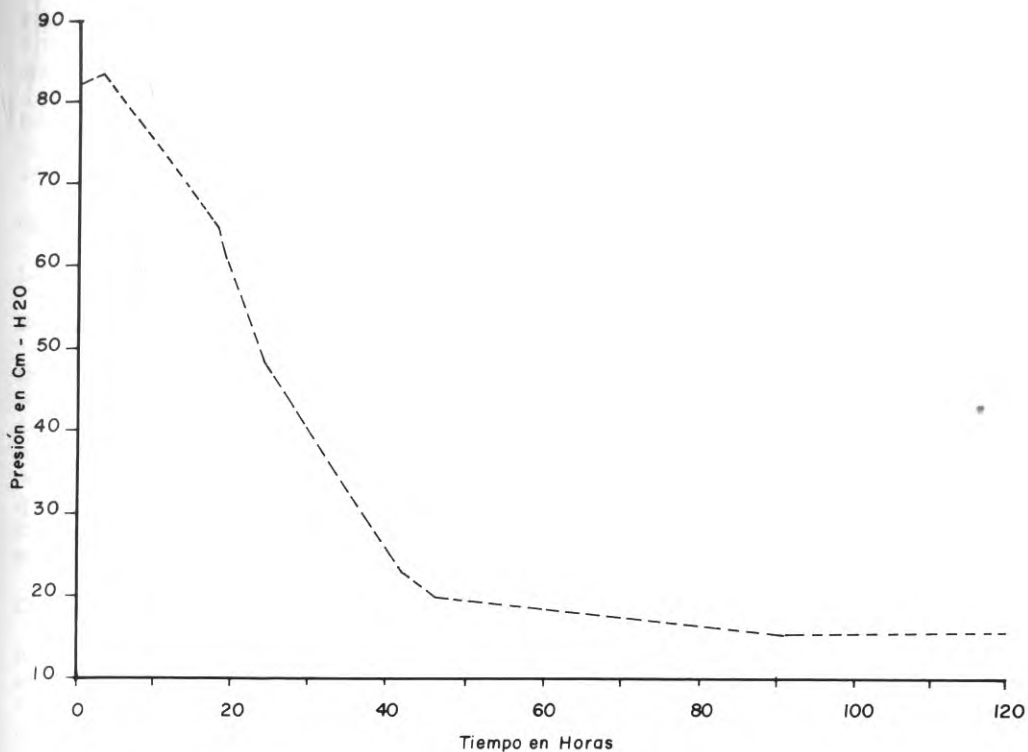


FIGURA 14. COMPORTAMIENTO DE LA PRESION. EN UNA PLANTA CON ESCAPES DE GAS

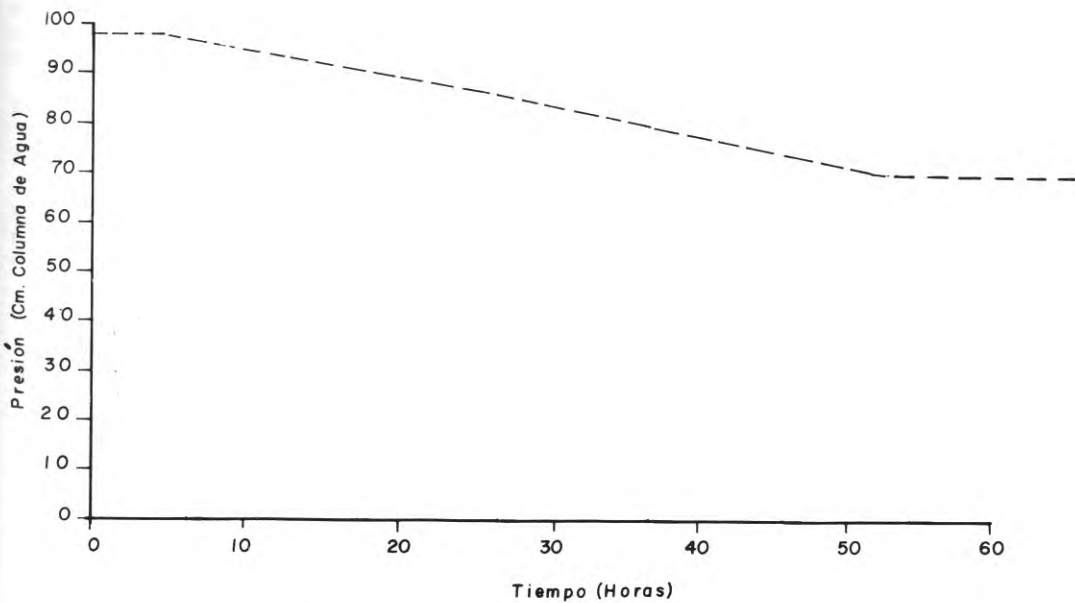


FIGURA 15. COMPORTAMIENTO DE LA PRESION. EN UNA PLANTA SIN ESCAPES DE GAS

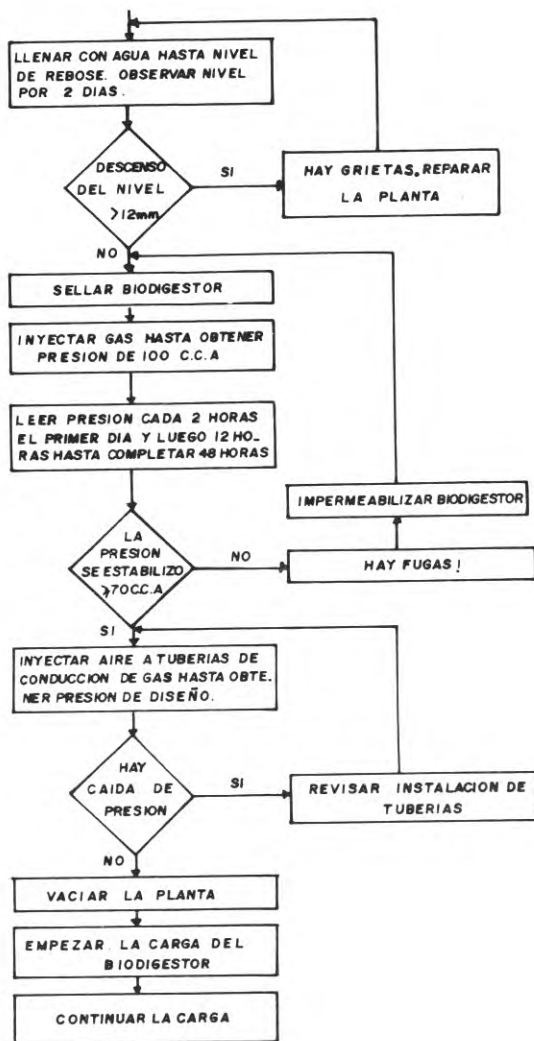


FIGURA 16. DIAGRAMA PARA PRUEBA DE FUGAS

Prueba de escapes de gas

La prueba de escapes puede efectuarse inyectando gas proveniente del exosto de un automóvil al biodigestor, estando éste lleno de agua hasta el nivel de la base del tanque de compensación; esta acción debe suspenderse tan pronto se alcance la máxima presión de diseño. A partir de entonces se toman lecturas periódicas de la presión con el manómetro previamente instalado.

Las curvas halladas a partir de estas pruebas muestran un comportamiento similar en todas las plantas, consistente en una caída

suave de presión que se estabiliza en un tiempo aproximado de 48 horas; esta caída es causada por los cambios de temperatura, y la descomposición del gas del automóvil. Si la presión no se estabiliza después de 48 horas o si sucede una caída inicial muy brusca, con pérdidas de más del 30% del valor inicial, se puede concluir que hay escapes. Figs. 14 y 15. El diagrama de la figura 16 nos indica los pasos al efectuar la prueba de escape de gas.

Operación y mantenimiento

Las actividades implicadas en la operación son:

Recolección del material

Debido a que el material de carga se recoge directamente del suelo, es muy conveniente dotar de piso a los establos para evitar que materias sólidas tales como arena o piedras causen depósitos en el fondo del biodigestor, y obstruyan la entrada del material por el tubo de carga; el material puede llevarse al tanque de mezcla en baldes o carretilla, o por gravedad, mediante un canal que lo conduzca directamente al tanque de mezcla, cuando va mezclado con las aguas de lavado.

Carga del biodigestor

A continuación, la mezcla se bate en el tanque de mezcla, y luego se introduce a la cámara de digestión. Cuando los establos no tienen piso, y el estiércol es recogido con pala, es conveniente dejar la mezcla tapada durante cierto tiempo, hasta que la sedimentación de los sólidos dificulte su entrada al digestor.

Revisión de la presión del gas

La lectura de presión se hace con ayuda del manómetro. Una anterior al consumo indica si la recuperación de la planta es normal; esto es importante, teniendo en cuenta que el principal indicio de problemas en el funcionamiento de la planta es un cambio grande e inesperado en la producción diaria de gas.

Remoción del efluente

Aunque las plantas de cúpula fija están diseñadas para que el efluente se derrame automáticamente (cuando se alcanza la presión máxima), la remoción manual es necesaria si la producción nocturna no es suficiente para que el efluente rebose antes del consumo matinal.

Las actividades de mantenimiento comprenden:

Chequeo y reparación

Chequeo y reparación de aparatos operados con biogás, válvulas, conexiones y uniones por donde puedan existir escapes. Los escapes se detectan aplicando agua y jabón al accesorio, y observando si presenta burbujas.

Descarga total

Es fundamental descargar el biodigestor cuando se nota dificultad

en la entrada de la mezcla por el tubo de carga, o en la salida del efluente hacia el tanque de compensación; estos inconvenientes pueden aparecer después de 2 años, o más, de funcionamiento continuo, y se debe a que los desechos en el fondo del biodigestor llegan a obstruir los extremos de los dos conductos. Para la operación de descarga es conveniente tener en cuenta ciertas precauciones:

- Vaciar la planta completamente, y sólo entrar cuando esté bien ventilada.
- Nunca ingresar al digestor con una vela encendida, o cualquier objeto que tenga llama abierta, sino con una linterna eléctrica.
- La persona que ingrese al biodigestor debe estar amarrada a una cuerda con la que pueda ser sacada fácil y rápidamente, en caso de necesidad.

La limpieza consiste básicamente en retirar del fondo los sedimentos y la nata que se encuentran acumulados en su interior. Parte de los líquidos extraídos del digestor pueden usarse nuevamente en la siguiente carga.

Problemas comunes de operación y funcionamiento

Sobrecarga de la planta

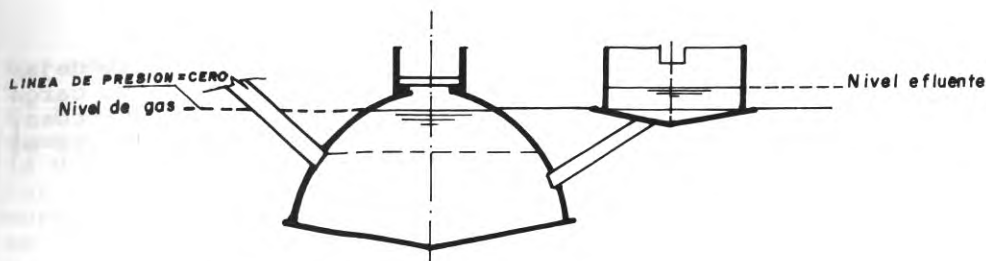
Una planta está sobrecargada cuando el volumen total de la biomasa (en la cámara de fermentación y en el tanque de compensación) es mayor que el volumen útil del biodigestor. Esto se presenta básicamente por tres razones:

1. Cuando existen consumos altos y no se remueve manualmente el efluente, tal como se explicó anteriormente.
2. El tubo de entrada se deja descubierto, y el digestor se llena de agua después de un aguacero.
3. Existen escapes de gas en la cúpula, o en las tuberías y accesorios.

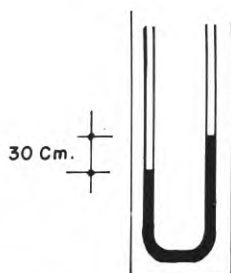
El problema de sobrecarga en una planta de biogás se detecta cuando:

- Al evacuarse el gas, la presión llega a cero (0), y el nivel del efluente en el tanque de compensación queda por encima de la línea cero. Fig. 17A.
- Cuando el nivel del efluente en el tanque de compensación está bastante alto, pero al medir la presión del gas con el manómetro resulta baja. Fig. 17B.

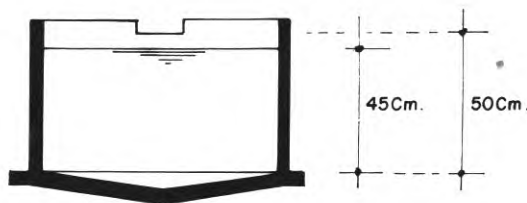
Este problema se soluciona desalojando el efluente hasta que su nivel coincida con la línea cero, y efectuando la carga normalmente. En caso de que exista mucho líquido en el interior de la planta, es conveniente sacar el exceso encontrado, ya que un material de fermentación muy diluido conlleva una baja producción de gas. Cuando esto no sea posible, debe esperarse un tiempo para que se estabilice la producción. También, en época de invierno, es recomendable tapar la boca del tubo de entrada después



A.) Presión cero. Planta sobrecargada



B.) Lectura manómetro



Nivel Tanque de compensación

FIGURA 17. MANERAS DE DETECTAR LA SOBRECARGA

de efectuar la carga diaria, evitando así la penetración de lluvia, hojas y ramas al interior del digester.

Si después de realizar las anteriores actividades no se obtiene un resultado positivo deben revisarse las tuberías y accesorios, y, en última instancia, efectuar una prueba de escapes. En caso de comprobar fugas, se procede a desocupar la planta y revisar su interior, para detectar la presencia de grietas en la cúpula.

Baja producción de gas

Además de la sobrecarga antes mencionada existen otras causas que ocasionan una baja, o nula, producción de gas. Estas, junto con sus respectivas soluciones, se detallan a continuación:

- El material de carga es insuficiente. Una solución consiste en mezclar estiércol de diferentes animales, o buscar el aporte de fincas vecinas para completar la carga de diseño.
- El material de fermentación es muy líquido. Esto se puede corregir aumentando la relación estiércol: agua, durante unos días, hasta que se estabilice el proceso, y luego retornar a la relación inicial.
- Disturbios en el proceso biológico. Pueden ser causados por una caída del pH; esto se corrige añadiendo cal al material de fermentación. También es factible que estén entrando sustancias nocivas o contaminantes para el proceso, como jabones, deter-

gentes o antibióticos. Si éste es el caso, es conveniente dejar de cargar la planta por unos días, o agregar material de carga que no presente problemas hasta que se establezca el proceso, después de lo cual es posible continuar cargando normalmente el digestor.

Bajo grado de fermentación

Es causado por un volumen de carga excesivo. Se detecta cuando el efluente tiene mal olor, está muy espeso, presenta un cambio de color, o cuando se observan muchas burbujas en la superficie del tanque de compensación. Este problema se corrige disminuyendo la carga diaria, con lo cual aumenta el Tiempo de Retención (TR).

6. APLICACIONES DEL BIOGAS

El biogás es usado como cualquier otro gas combustible para uso doméstico e industrial; el prerequisite principal es que exista la disponibilidad de quemadores diseñados especialmente para operar con biogás, o modificar los aparatos consumidores que operan normalmente con otros combustibles, y que se consiguen fácilmente en el mercado.

La modificación y adaptación de quemadores sencillos tipo comercial es una labor experimental. Prácticamente las modificaciones son:

- Ensanchamiento de la sección transversal del inyector por un factor de 2 a 4, con el fin de incrementar la presión del gas.
- Regulación del surtidor de combustible-aire; particularmente es una condición si existe un control.
- Aumento del tamaño de la abertura del surtidor (evitarlo si es posible).

El ajuste adecuado se logra al obtener una llama estable y compacta.

TABLA 8

INDICADORES PARA EL AJUSTE DE LA LLAMA

PROBLEMA	CAUSA	REMEDIO
Llama amarillenta	Falta de combustión de aire	Aumentar el suministro de aire
Llama demasiado pequeña	Insuficiencia de combustible	Usar un inyector más grande; incrementar la presión del gas
Llama demasiado grande	Excesivo suministro de combustible	Reducir la presión del gas; usar inyector más pequeño

Aparatos operados a biogás

Actualmente en Colombia son pocos los aparatos diseñados especialmente para usarse con biogás, sin embargo se han usado con éxito equipos que operan con otros combustibles. La tabla 6, del capítulo 3, resume los consumos de biogás de los aparatos más utilizados.

Estufas

Las estufas a gas propano pueden ser adaptadas para operar con biogás, aumentando la presión del gas en los quemadores, y enriqueciendo un poco la mezcla combustible-aire. Esto se logra sen-

cillamente aumentando el diámetro de la boquilla del surtidor de combustible y cerrando parcial o totalmente la entrada de aire, hasta lograr una llama estable y azul.

Se han obtenido buenos resultados aumentando el diámetro de las boquillas de estufas a gas propano que se consiguen comercialmente a 1,6 mm, y cerrando parcialmente la entrada de aire cuando la fuente de combustible es una planta de cúpula fija. Con estas modificaciones se han tenido consumos de 350 a 400 litros de biogás/hora, dependiendo de la intensidad de la llama y de la presión de operación de las plantas.

Para operar las estufas con plantas con campana flotante o tipo balón, los diámetros de los inyectores deben ser mayores, 2 a 2,5 mm aproximadamente.

Lámparas

El buen funcionamiento de una lámpara a biogás depende de la calibración óptima de la llama y de el cuerpo incandescente, que debe ser rodeado por la llama con el mínimo consumo de gas.

La pantalla de la lámpara refleja la luz hacia abajo, y el vidrio previene la pérdida demasiado rápida del calor.

Los desperfectos más frecuentemente observados en lámparas comerciales son:

- Sección transversal de la boquilla excesivamente grande.
- Caperuza demasiado grande.
- Imposibilidad de cambiar el inyector.
- La mala calidad o carencia del control del aire de combustión.

De desventajas semejantes resultan elevados consumos de gas, innecesarios y deficiente iluminación.

Las lámparas a biogás son controladas ajustando el surtidor de gas y del aire primario. El punto óptimo es cuando se forma en la caperuza una luz uniforme y continua. Para revisar el ajuste, se coloca el vidrio en la lámpara, y se esperan varios minutos hasta que ésta haya alcanzado su temperatura normal de operación.

La mayoría de las lámparas trabajan bien con presiones de 20 cm de columna de agua. Si la presión es más baja, la caperuza no da buena luz, y si la presión es muy alta (sistemas de cúpula fija), la caperuza se puede romper, pero se mejora la eficiencia lumínica.

Las lámparas a gasolina tipo Coleman pueden ser adaptadas para funcionar con biogás, eliminando algunas de sus partes, y regulando un poco el sistema de inyección del combustible. Con estas modificaciones presentan consumos de 100 a 110 litros de biogás por hora.

Existen lámparas diseñadas especialmente para funcionar con biogás, como las lámparas brasileras tipo Jackwal, que consumen alrededor de 105 litros por hora.

PESENCA ha desarrollado dos modelos de lámparas operados a bio-

gás, los cuales se han construido con materiales locales, y a un costo menor que el de las anteriormente mencionadas. Las lámparas han sido evaluadas, y su funcionamiento ha sido satisfactorio, presentando un consumo de 140 litros por hora para su máxima iluminación. Los planos y recomendaciones pueden consultarse en el anexo 2.

Las lámparas a gas tienen la desventaja que se recalientan debido a que gran parte de la energía es convertida en calor; por lo tanto, deben instalarse alejadas de paredes y techos de paja u otro material combustible.

Refrigeradores

Máquinas de refrigeración tipo absorción, operadas con amoníaco y agua, y equipadas con un termosifón de circulación automática, pueden funcionar con biogás. Puesto que el biogás es únicamente una fuente de calentamiento externa al refrigerador, solamente el quemador debe ser modificado. Siempre que un refrigerador es convertido para operar con biogás, debe equiparse con un piloto de seguridad, para incrementar sustancialmente la comodidad de operación.

Un refrigerador consume de 750 a 1800 litros de biogás por 100 litros de capacidad por día, dependiendo de la temperatura ambiental. Así, la producción promedio de biogás de una planta a pequeña escala, es adecuada para operar un refrigerador.

Algunos refrigeradores movidos con kerosene y operados a gas, que han sido modificados para operar con biogás, han funcionado perfectamente, y otros han presentado problemas, principalmente en relación con la interrupción frecuente de la llama; por esto, muchas veces es recomendable el uso de surtidores estabilizadores. También es conveniente equiparlos con un dispositivo de seguridad, para detener el flujo de gas si la llama se apaga.

Calentadores Radiantes

Los calentadores infrarrojos son usados en agricultura para alcanzar las temperaturas requeridas para el levante de lechones y

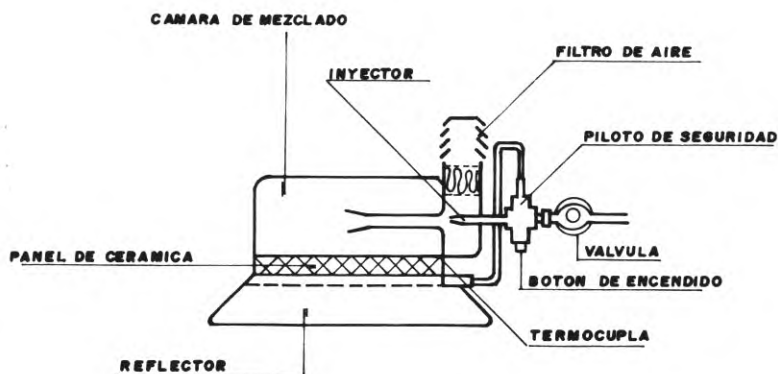


FIGURA 18. ESQUEMA DE UN CALENTADOR RADIANTE

pollos en lugares muy limitados de espacio.

Los calentadores desarrollan su radiación a través de un cuerpo de cerámica, que es calentado de 600 a 800°C por la llama del biogás. Fig. 18.

La conversión de un calentador para operar con biogás consiste normalmente en el reemplazo del inyector; experiencias demuestran que calentadores comunes de butano, propano y gas natural, rara vez trabajan satisfactoriamente con biogás, porque éste tiene un bajo valor calorífico neto, y la presión de suministro de gas es inferior a 20 mbar en algunas plantas de biogás; por todo lo anterior, el panel de cerámica no es adecuadamente calentado, ya que la llama no cubre la superficie entera, y el calentador es muy susceptible a las corrientes de aire.

Incubadoras

Las incubadoras tipo planar con calentamiento indirecto de agua, que utiliza para ello un quemador y calienta el agua por circulación directa a través de las cámaras de incubación, son apropiadas para operar con biogás. La temperatura es controlada por orificios con celdas reguladoras de éter.

Motores

Los motores diesel y de encendido por chispa de cuatro tiempos se pueden ajustar para operar con biogás. Los de dos tiempos, en los cuales la lubricación es llevada a cabo por adición del aceite en el combustible líquido, y los de marcha lenta (menor de 1000 r.p.m) que no integran grandes series y requieren de un equipo de control complicado, son menos apropiados para trabajar con biogás.

Conversión de motores diesel

Básicamente existen dos métodos para su conversión a biogás:

- 1. Entrada dual de combustible:** Excepto por la adición de la cámara de mezclado de gas-aire sobre el múltiple de admisión, el motor diesel permanece inmodificado. El suministro de biogás es controlado manualmente. La máxima admisión de biogás ocurre cuando el motor comienza a fallar. Si por casualidad, el regulador está recibiendo demasiado biogás, y tiene, por lo tanto, una caída de admisión de diesel, el encendido no es seguro ni estable. Normalmente un 15 a 20% de diesel es suficiente, lo que significa que casi el 80% del combustible diesel es reemplazado por biogás. Cualquier baja en la cantidad de biogás es compensada automáticamente por el regulador, con más diesel.
- 2. Funcionamiento con biogás solamente con encendido por chispa:** Los cambios necesarios son: Remoción de la bomba de inyección y de los inyectores, reducción de la relación de compresión a 10 ó 12, montaje del sistema de encendido con bujía, bobina de encendido, distribuidor y alternador, para motores de más de un cilindro, y montaje de un mezclador para el suministro de la mezcla aire - combustible con una constante relación aire - combustible (mezclador venturi o válvula de control).

Conversión de motores de encendido por chispa

La conversión de un motor de encendido por chispa a biogás requiere reemplazar el carburador de gasolina por una válvula mezcladora (controlador de presión tipo venturi, o con reguladores). El principio de encendido por chispa es conservado, solamente es necesario el adelanto de ella para responder a la combustión lenta del biogás, y para evitar el recalentamiento de las válvulas de escape. La velocidad del motor es limitada a 3.000 r.p.m.

El control de la velocidad de los motores de encendido por chispa convertidos es efectuado por medio de un regulador operado manualmente. Un control automático de velocidad para diferentes condiciones de carga requiere de la adición de un dispositivo de control electrónico para el regulador.

Selección y operación del motor

Cuidados para la elección de un motor adecuado. Para elegir un motor hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Definir los requerimientos de energía y velocidad de la máquina a ser operada.
- Comparar la demanda de biogás con las capacidades de almacenamiento; si el biogás no es suficiente, optar por el combustible dual apropiado.

TABLA 9

REQUERIMIENTOS PARA CONVERSION DE MOTORES Y MODOS DE CONTROL

MODO DE USO	MODO DE CONTROL	MODO DE CONVERSION
Velocidad: Constante Potencia: Constante Para una bomba con cabeza y entrega constantes	Diesel o motores de encendido por chispa: Ajuste manual fijo	Adición de una cámara simple de mezclado, ajustada manualmente
Velocidad: Constante Potencia: Variable Para una frecuencia constante sujeta a variaciones de potencia o para una bomba con cabeza constante y variaciones en la entrega de volumen	Control automático de velocidad: A gasolina: Controles electrónicos del regulador Diesel: Fracción fija de biogás, con control de velocidad por medio del gobernador de admisión de diesel	A gasolina: Carburador o válvula mezcladora de gas con regulador; control electrónico Diesel: Regulador y cámara mezcladora ajustada manualmente
Velocidad: Variable Potencia: Variable Para varios tipos de máquinas de potencia	A gasolina: Manual o con control eléctrico Diesel: Manual, por medio de palanca del acelerador	A gasolina: Con control electrónico, válvula mezcladora de gas o carburador con regulador Diesel: Cámara mezcladora manual

Fuente: Mitzlaff 1986.

- Seleccionar un motor con características de funcionamiento que sea seguro para suministrar la potencia de salida requerida, y mantenerlo operando en el rango óptimo.

Para motores Diesel: Potencia motor = Potencia máquina/0.8
Para motores a Gasolina: Potencia motor = Potencia máquina/0.6

Una planificación cuidadosa es muy importante en muchos proyectos que involucra el uso del biogás en motores; experiencia técnica es necesaria para realizar las conexiones y adaptaciones del motor.

Consumo. Dependiendo de la composición del gas, la presión barométrica y el tipo de motor, el consumo específico se encuentra entre 0.5 a 0.8 m³/kWh. En conversión de electricidad son requeridos aproximadamente 0.75 m³/kWh. Con dos combustibles, la rata de consumo de gas es reducida.

Mantenimiento y vida útil. En contacto con agua, el ácido sulfúrico contenido en el biogás produce corrosión. Consecuentemente, es muy importante prescribir cambios de aceite a ciertos intervalos (después de cada 100 horas de operación para motores de encendido por chispa). En motores con dos combustibles que son encendidos con diesel puro, el biogás se adiciona después de dos minutos. Para parar, la fracción de biogás debe ser gradualmente reducida antes de apagar el motor.

Todo motor que no vaya a estar en operación por un largo tiempo debe conservarse con abundante aceite fresco. Mientras se evite operarlo en condiciones extremas, se puede esperar que el motor alcance una vida útil normal.

Purificación del biogás

Para la conservación de los aparatos operados a biogás, especialmente motores, se debe extraer parte del H₂S contenido en el gas.

Existen varias formas de purificación, entre las que se encuentran:

- **Filtros de FeO₂ o Fe (OH)₃.** Para ésto se puede utilizar la viruta de hierro, la cual se puede regenerar al exponerla al aire libre. El aire debe inyectarse con cuidado al filtro, y puede hacerse con bombas para acuarios.
- **Adición de FeO₂ al sustrato.** Adicionando 500 gramos FeO₂ por cada 4000 litros de sustrato, el contenido de H₂ pasa de 0,2 a 0,07%. Esta cantidad debe suministrarse diariamente.
- **Aprovechamiento de la condensación de agua.** Cuando se condensan grandes cantidades de vapor de agua del biogás, se absorbe allí mismo gran cantidad de H₂S, pudiéndose remover hasta un 30 a 40% del ácido. Este método es muy usado en clima frío.
- **Por adición de aire.** Se ha encontrado que adicionando aire en pequeñas cantidades al depósito del almacenamiento de gas, se reduce la concentración de H₂S. La reacción, cuyo catalizador es el mismo proceso biológico del sustrato, no ocurre a bajas temperaturas. El suministro de aire debe ser controlado, para no crear una mezcla explosiva.

Aplicaciones del Biogas



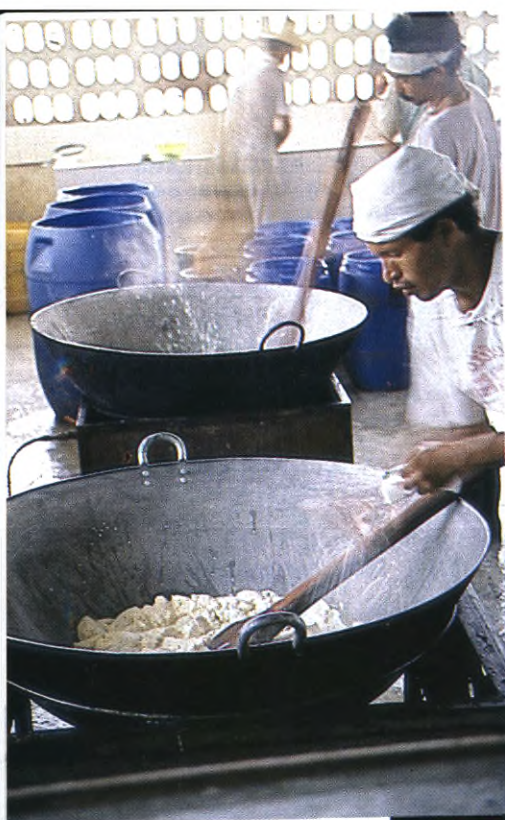
Estufa adaptada para Biogas



Lámpara funcionando con Biogas



Calentador de lechones



Fabricación de queso, calentamiento de la leche



Motor que opera con B



Calentamiento de
un horno de pan

7. USOS DEL EFLUENTE

Uso como fertilizante

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados (CH_4 , CO_2 , H_2S) que representan 5 a 10% del volumen total del material de carga. Se conservan en el efluente todos los nutrientes originales (N,P,K) contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores, y de fácil aplicación.

Ventajas de su uso:

- El efluente lleva parte de sus nutrientes en forma no disponible de inmediato para las plantas, es decir, los libera paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de la materia orgánica. De esta forma, la nutrición es lenta, pero continua.
- Aumenta el contenido de humus del suelo, el cual mejora la estructura del terreno, facilita la aireación, la rata de formación de depósitos de nutrientes, y la capacidad de retención e infiltración de agua.
- Permite un ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.
- Presenta incremento de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.

Formas de aplicación

Efluente líquido

Las ventajas principales de utilizar el efluente líquido como abono son:

- Alta disponibilidad de nutrientes.
- Buena absorción de nutrientes por parte de las plantas.

Puede aplicarse inmediatamente sale de la planta, o almacenarse en tanques tapados por un período no mayor de 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.

El uso del efluente como abono en forma líquida juega un papel importante para usuarios que tengan sus pequeños cultivos cerca de la planta, ya que en caso contrario, el transporte y la aplicación de grandes volúmenes presenta costos adicionales, y problemas de manejo.

Efluente compostado

Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde y compostándolo; este método produce pérdidas de nitrógeno del 30% - 70%, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita su transporte y aplicación.

Al compostar se minimizan las pérdidas de nutrientes disponibles

en el efluente, ya que la incorporación del material verde añadido proporciona otros nutrientes, compensando así el sustrato final. Las proporciones de mezcla pueden variar de 1:5 a 1:7, de material verde seco:efluente líquido.

Efluente seco

El resultado del secado es una pérdida casi total del N orgánico (cerca del 90%), lo que equivale aproximadamente al 5% del N total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado. Se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o el camino a los cultivos sea largo y difícil.

Dosis de aplicación

La dosis de efluente que debe aplicarse en cualquier forma se determina en términos de la cantidad del nutriente equivalente (como N equivalente o K equivalente) que se necesite, la cual dependerá del tipo de suelo y cultivo; conviene, por lo tanto, efectuar el análisis del efluente para establecer sus propiedades nutritivas, tabla 10.

TABLA 10

CONTENIDO PORCENTUAL DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN EFLUENTES DE BIODIGESTORES (Base de materia seca)

Clase de estiércol	N. total	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Aguas residuales	1.5 - 5	1.5-5	0.1-0.3	4-6	0.6-2
Bovino	2.3 - 4.7	0.9-2.1	4.2-7.6	1-4.2	0.6-1.1
Porcino	4.1 - 8.4	2.6-6.9	1.6-5.1	2.5-5.7	0.8-1.1
Aves	4.3 - 9.5	2.8-8.1	2.1-5.3	7.3-13.2	1.1-1.6

Fuente: Sachstands bericht zufragen

La tabla 11 da una guía de las dosis recomendadas de nutrientes para diferentes cultivos, en la cual se toma como criterio de apoyo para las recomendaciones el contenido de materia orgánica del suelo, que es la fuente de N, P, K, y de algunos elementos menores.

El tiempo adecuado de aplicación del fertilizante depende del tipo de cultivo. Las recomendaciones del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) son las siguientes:

- En maíz y sorgo, se debe aplicar todo el P, el K y la tercera parte de N, al momento de la siembra. El resto de N, 20 días después de la germinación.
- En hortalizas, la fertilización se hace en el momento del

TABLA 11

GUIA DE RECOMENDACIONES PARA LA FERTILIZACION DE DIFERENTES CULTIVOS EN LA COSTA ATLANTICA

Cultivo	Características del suelo			Fertilizantes recomendados (Kg/ha)		
	MO %	P ppm	K meq/100 g	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Maíz y sorgo	< 2	< 15	< 0.2	50-75	50-75	25-50
	2-4	15-30	0.2-0.4	25-50	25-50	15-25
	> 4	> 30	> 0.4	0-25	0-25	0
Hortalizas		< 20	< 0.2		120-160	60-75
		20-40	0.2-0.4	75-90	80-120	30-60
		> 40	> 0.4		15-45	0-30
Fríjol y soya		< 20	< 0.2		50-75	50-75
		20-40	0.2-0.4	15-25	25-50	25-50
		> 40	> 0.4		0-25	0-25
Yuca	< 2	< 15	< 0.25	75-100	100-125	75-100
	2-3	15-30	0.25-0.45	50-75	75-100	50-75
	> 3	> 30	> 0.45	0-50	0-75	0-50
Pastos		< 20	< 20	75-100	25-50	25-50
		20-40	0.2-0.4	50-75	15-25	15-25
		> 40	> 0.4	0-50	0	0
Frutales de clima cálido (gas/planta/año *)	< 2	< 20	< 0.2	75-125*	75-125*	75-125*
	2-4	20-40	0.2-0.4	50-75*	50-75*	50-75*
	> 4	> 40	> 0.4	25-50*	0-50*	0-50*

Fuente: ICA

MO = Masa orgánica, ppm = Partes por millón, meq = Miliequivalente

transplante; también 2 a 3 semanas después de éste, al realizar el primer aporque; y al inicio de la fructificación.

- En fríjol y soya se aplica al momento de la siembra.
- En cultivos de yuca todo el P y una tercera parte del N y el K se deben aplicar al momento de la siembra. El resto de estos elementos debe aplicarse entre los 60 y 75 días después de la siembra.
- En pastos se aplica después de cada corte.
- En frutales, el fertilizante debe aplicarse durante el período de lluvias. En suelos pobres y arenosos, se dobla la dosis recomendada, y se aplica la mitad al iniciar el período de lluvias, y la otra cuando finaliza.

Otros Usos

El efluente puede ser utilizado como alimento para peces, en lagos o estanques artificiales; en este caso es necesario exponerlo al sol y al aire durante unos dos días, para evitar que consuma el oxígeno del agua. Después de la aireación se distribuye uniformemente sobre el lago.

La lombricultura, es otra actividad en la cual puede ser utilizado el efluente. Normalmente se emplea seco, como sustrato principal, o en forma líquida, mezclado con residuos sólidos como paja de arroz, paja de maíz o sorgo, entre otros.

Ensayos realizados con el efluente

PESENCA ha iniciado un ciclo de ensayos con el objeto de comprobar las bondades de el efluente como fertilizante. Los primeros ensayos han sido con pasto Angleton y pimentón, y sus resultados se describen a continuación.

Ensayo con pastos de corte

El lote para este ensayo, localizado en el Centro de Pruebas de Turipaná - Córdoba, se dividió en doce parcelas con un área de 9 m² cada una. El efluente utilizado se tomó de una planta alimentada con estiércol de vacunos; su contenido de nitrógeno era de 2,5 kg/m³. Este valor equivale a 2,5 % de nitrógeno por m³ de efluente, si se supone un contenido de 10% de materia seca en su composición.

En la prueba se aplicaron dos dosis diferentes de efluente. La primera dosis fue de 18 L/parcela/corte, lo que equivale a 20 m³/ha/corte (E1); la segunda fue del doble, o sea una aplicación de 40 m³/ha/corte (E2).

En el ensayo se totalizaron 9 cortes, con intervalos de 45 días entre ellos.

Resultados

Las ventajas del uso del efluente como abono comenzaron a apre-

TABLA 12

PRODUCCIONES PROMEDIO EN ENSAYO CON PASTO ANGLETON

PARAMETRO OBSERVADO	TRATAMIENTO (Valores promedios)		(Testigo) "To"
	"E1"	"E2"	
Rendimiento (t/ha)	21.80	26.10	15.85
Forraje verde (t/ha)	21.80	26.10	15.85
Forraje seco (t/ha)	4.30	9.26	3.84
Materia seca (%)	27.10	23.60	25.36

ciarse después del segundo corte. Los resultados de algunos cortes no fueron satisfactorios debido a un mal manejo de las parcelas de ensayo y a condiciones de sequía.

Los mayores rendimientos correspondieron al tratamiento E2, o sea una aplicación de 40 m³/ha, con un promedio de incremento del 26% sobre el rendimiento del testigo, en comparación con el tratamiento E1, que presentó 22% de incremento promedio. El máximo rendimiento alcanzado: 36.78 t/ha ocurrió en el corte No 9, con la aplicación del tratamiento E2. Las tablas 12 y 13 resumen los resultados obtenidos.

Ensayo con hortalizas

Para este ensayo se utilizó la variedad de pimentón "keystone Res. Giant No 3", cuyo rendimiento puede estar cerca de 20 t/ha, aunque su producción comercial oscila alrededor de 12 t/ha.

TABLA 13

INCREMENTO EN LAS PRODUCCIONES DE PASTOS DE LOS TRATAMIENTOS E1 Y E2 CON RESPECTO AL TESTIGO

PARAMETRO OBSERVADO	INCREMENTO (%)	
	"E1"	"E2"
Rendimiento (t/ha)	37.50	64.60
Forraje verde (t/ha)	37.50	64.60
Forraje seco (t/ha)	11.90	141.10
Materia seca (%)	6.80	-6.94

El ensayo se realizó en 12 parcelas de 3.75 m² cada una, divididas en cuatro bloques, y consistió en la aplicación de dos dosis diferentes de efluentes y un testigo no tratado. En cada parcela se sembraron 15 plantas, lo que da una densidad de 40.000 por hectárea.

El primer tratamiento consistió en una dosis de 9 L/parcela, lo que equivale a 24 m³/ha y cerca de 60 kg de N/ha; esta dosis se aplicó 19 días después de haber realizado el trasplante. El segundo tratamiento empleó una dosis de 18 L/parcela, que corresponde a 48 m³/ha, y alrededor de 120 kg de N/ha. Tablas 14 y 15.

TABLA 14

PRODUCCIONES TOTALES DEL ENSAYO CON PIMENTON

PARAMETROS	TRATAMIENTO		
	"E1"	"E2"	"To"
Rendimiento (kg/tratamiento)	20.52	20.77	14.41
Frutos/tratamiento (unidades)	537.00	531.00	456.00
Peso/fruto (gramos)	38.21	39.11	31.60
Rendimiento (t/ha)	13.68	13.85	9.60

TABLA 15

INCREMENTOS EN LAS PRODUCCIONES DE PIMENTON DE LOS TRATAMIENTOS E1 Y E2 CON RESPECTO AL TESTIGO

PARAMETROS	INCREMENTO (%)	
	"E1"	"E2"
Rendimiento (kg/tratamiento)	42.40	44.14
Frutos/tratamiento (unidad)	17.76	16.45
Peso/fruto (gramos)	20.92	23.77
Rendimiento (t/ha)	42.50	44.27

Usos del Efluente



Efluente en el tanque de compensación



Aplicaciones del efluente en cultivo de Tabaco

8. RENTABILIDAD DE PLANTAS DE BIOGAS

Uno de los efectos más notables de las crisis energéticas ocurridas a partir de 1973 ha sido, sin lugar a dudas, la intensificación del desarrollo de las diferentes tecnologías para el aprovechamiento de las así llamadas, Fuentes Nuevas y Renovables de Energía.

Si bien en estos años la atención se concentró casi exclusivamente en los aspectos técnicos de las nuevas tecnologías, al menos desde 1983, también se siente un notable y creciente interés por los aspectos económicos de las tecnologías alternas; esto se debe, por una parte, a que los precios del petróleo y de sus derivados no crecieron en la manera esperada; por otra, a que cualquier tecnología energética, al ser introducida en el mercado, se enfrenta a otras ya bien establecidas; por ello, los posibles clientes, por interés propio, se interesan en una comparación de costos y beneficios de las posibles alternativas.

Entre las fuentes de energías renovables, la energía solar, la eólica, y la biomasa son las que están más expuestas a la competencia con los sistemas convencionales, si éstos últimos se encuentran disponibles, incluso a precios altos. Esto se debe, generalmente, a la baja densidad energética de las fuentes renovables de energía, que requieren el uso de abundante material para concentrar la producción de energía. Esto se puede observar fácilmente, por ejemplo, en el caso de la biomasa que se utiliza en plantas de biogás.

En el análisis de rentabilidad de plantas de biogás se debe considerar que ésta, al ser una tecnología multipropósito, compete en tres áreas muy diferentes:

En el mercado de los energéticos, la planta, como productora de metano, compete con la leña, el gas propano y la electricidad, energéticos utilizados usualmente en la cocción; con el kerosene, las velas y la electricidad, en iluminación; con el gas propano y la electricidad, en refrigeración; y con la gasolina o el diesel, como combustibles para motores.

En el mercado de los abonos, la planta de biogás como productora del abono orgánico al que llamamos "efluente" compete con el estiércol fresco, y con los fertilizantes químicos.

Finalmente, en el mercado del tratamiento de desechos contaminantes, la planta puede imponerse sobre los sistemas de tratamiento aeróbicos tradicionales.

Lo anterior, permite confirmar que la tecnología del biogás genera productos importantes que pueden sustituir, no sólo bajo el punto de vista técnico sino económico, a productos que tienen amplia demanda actualmente.

En lugares donde la construcción de plantas es efectuada por cuenta de entidades públicas encargadas de la protección del medio ambiente, no es necesario hacer un cálculo de rentabilidad. En cambio, cuando la decisión de construcción se toma con base en criterios económicos, la planta debe ofrecer un máximo de beneficios para el usuario. Es obvio, por lo tanto, que la rentabilidad de una planta aumenta cuando el usuario aprovecha por lo

menos dos de sus productos; tal el caso de las porciculturas y agroindustrias, alcanzándose la máxima rentabilidad donde se requieren los tres servicios: la energía, el bio-abono y la descontaminación. Ahora, si el usuario sólo se interesa por uno de estos productos, depende de él si incluye los beneficios adicionales en su cálculo de rentabilidad para aumentarla, o no.

Datos necesarios en el análisis de rentabilidad

Un requisito indispensable para el cálculo de rentabilidad de cualquier inversión consiste en registrar, lo más detalladamente posible, todos los gastos e ingresos que surgen con respecto a la inversión planeada (los gastos evitados se consideran como ingresos).

Con estos datos se obtiene la relación costos/beneficio, que debe compararse con la que posean otros recursos, para escoger la tecnología más apropiada.

Los gastos que deben registrarse son:

- Costos de construcción (materiales, mano de obra, dirección, etc.)
- Costos de instalación de los aparatos operados a biogás.
- Costos de operación y mantenimiento.

En el momento de determinar los beneficios ofrecidos, el principal problema se presenta al tratar de cuantificar en términos monetarios el efluente y los efectos de la descontaminación, para incluirlos en el cálculo de la rentabilidad. Esta tarea se facilitará si se tienen en cuenta los siguientes factores implicados en el uso del efluente como abono:

- Cambios en la producción, comparados con otros procedimientos de fertilización, o la ausencia de los mismos.
- Cambios en la carga de trabajo.
- Cambios en los costos de la fertilización, al comparar el bio-abono con otros fertilizantes.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede cuantificar el valor del efluente con parámetros concretos:

- Si antes de la construcción de la planta no se usaban fertilizantes en una finca, el valor corresponde al precio comercial de los nutrientes contenidos en el efluente.
- Si el efluente ha reemplazado a fertilizantes químicos, el valor corresponde al ahorro generado.
- Si anteriormente no se fertilizaba, o se usaban otros abonos orgánicos, el precio del efluente será la cuantía monetaria correspondiente al aumento en la producción, obtenido a partir de la fertilización con el efluente.
- Si es vendido externamente, el valor corresponderá a los ingresos obtenidos por este concepto.

Al beneficio de la descontaminación se le puede dar un valor

igual al costo del sistema tradicional que produzca el mismo efecto.

Análisis de rentabilidad para plantas construidas en la Costa Atlántica

Para realizar los análisis económicos se utilizará el método estático de cálculo de rentabilidad descrito en el libro "Guía para el cálculo de rentabilidad de proyectos de inversión para el abastecimiento de energía", H. Finck, G. Oelert, publicado por la GTZ.

A continuación, y a manera de ejemplo, se efectuará el cálculo de rentabilidad de tres casos concretos: El primero, corresponde al de una planta de tipo cúpula fija construida en Aremasaín (Guajira), de 21.25 m³ de capacidad, y una producción diaria de gas de 8.6 m³. Allí, el biogás es utilizado en un horno de pan y una cocina, reemplazando al gas propano empleado anteriormente en la cocción.

El segundo estudio concierne a una planta de cúpula fija de 35 m³ de capacidad, y 12 m³/día de producción estimada, construida en una finca quesera de Sahagún (Córdoba), en 1990. En este sitio, el biogás producido se utiliza en el quemador industrial de la quesera, que anteriormente empleaba gas propano. En este caso, al igual que el anterior, sólo se incluía el ahorro debido al uso del biogás en el cálculo respectivo.

El tercer estudio corresponde a una planta de cúpula fija construida en Ovejas (Sucre), de 24 m³ de capacidad, y 9.75 m³/día de producción estimada. El gas de esta finca se utiliza en la cocina de dos hogares campesinos, y los 0.58 m³/día de efluente son utilizados para fertilizar un cultivo de hortalizas, y algunos árboles frutales (lo cual permite un ahorro de 75 kg de urea por año). En este caso, se efectuarán dos análisis, uno incluyendo el valor del efluente como abono y otro considerando solamente el beneficio del recurso energético.

Para los ejercicios desarrollados a continuación se ha supuesto una tasa de descuento (i) del 7%, que corresponde a la tasa de interés real (i*); esto es, la tasa del mercado, una vez deducida la tasa de inflación, suponiendo precios constantes para ingresos y egresos. También, se supone una vida útil de 20 años, y un valor residual de cero, al cabo de los mismos. Se considerará que la operación de la planta se llevará a cabo por medio de los mismos usuarios o empleados disponibles.

Conociendo que se emplea biogás en vez de gas propano para cocción en los tres casos mencionados, asumimos que se necesitan 4 m³ de biogás para reemplazar 1 m³ de propano. Como 1 cilindro de 100 lbs de este gas contiene 24 m³, tenemos que 95 m³ de biogás reemplazarán 1 cilindro de éstos.

Los precios del cilindro de 100 lbs de propano eran de \$2800 en el municipio de Ovejas, en 1.988, \$2500 en Riohacha, en el mismo año y \$6000 en Sahagún, a diciembre de 1.990.

El valor comercial del efluente se tomará como el precio comercial del nitrógeno contenido en él. Se usará como dato promedio que 1 m³ de este material contiene 1.75 kg de nitrógeno, y equi-

vale a 3.8 kg de Urea; teniendo en cuenta que el precio del kg de urea en 1.988 era de \$100, se puede asignar un valor de \$380 al m³ de efluente.

Resultados

Tal como se evidencia en la tabla 16 de resultados, las plantas de biogás son rentables, aun si sólo se incluye en el análisis el

TABLA 16
RESULTADOS DEL ANALISIS DE RENTABILIDAD

PARAMETROS	PLANTA OVEJAS	PLANTA OVEJAS CON EFLUENTE	PLANTA AREMASAIN	PLANTA SAHAGUN
Volumen Digestor (m ³)	24	-	21	40
Producción Diaria de Gas (m ³)	9.75	-	8.6	17.6
Vida Util (años)	20	-	20	20
Año de Construcción	1988	-	1988	1990
Costos de Inversión inicial (\$ pesos)	801590	-	666000	1478300
Costos de Inversión Inicial (US\$)	2085.7	-	2050.7	2463.8
Costos de Inversión por m ³ digestor (US\$)	86.9	-	97.6	61.6
Costos Operación y Mantenimiento	30000	-	20000	40000
Energía Substituida (Cil. 100 Lb GLP)	37.5	37.5	33	68.5
Precio/Unidad (\$ Pesos)	2800	2800	2500	6000
Ahorro de Costo de Energía (\$ pesos)	104889	104889	82500	411000
Ahorro de Abonos (\$ pesos)	-	80446	-	-
Tasa de Interés (%)	7	7	7	7
Tiempo de Amortización (años)	10.7	5.16	10.66	4.02
Rentabilidad (%)	8.7	28.75	8.7	39.7

Nota: El cambio utilizado para el dólar es el vigente a la fecha de construcción.

uso del gas como reemplazo del propano en cocción. En el caso de Ovejas, podemos observar que al incluir el efluente en el análisis, la rentabilidad aumenta un 24%, lo que corrobora lo anteriormente mencionado en el sentido de que los usuarios que obtendrán más beneficios serán los que usen al menos dos de los productos de la planta.

El tiempo de amortización se mantuvo en el rango de 4 a 11 años, que con respecto a la vida útil de 20 años es bastante aceptable.

En los tres casos comparados se puede observar que la inversión inicial/m³ disminuye a medida que aumenta el volumen de la planta. Siendo la inversión inicial un factor importante en la rentabilidad, se concluye que las plantas grandes son más rentables que las pequeñas, teniendo más posibilidades de competir con otras tecnologías.

Conclusiones

En general, los resultados de este análisis económico indican que debe prestarse mucha atención a los siguientes aspectos:

- La eficiencia de la planta, en términos de m³ de gas producido.
- La utilización del gas, en términos de m³ de gas usado sobre m³ de gas producido.
- El costo de inversión de la planta, y el aprovechamiento de todas las posibilidades para bajar los gastos en los diferentes rubros y/o alargar su vida útil.
- La estandarización en los diseños y métodos constructivos de las plantas de biogás es recomendable como forma de disminuir los costos de inversión inicial. Esto es especialmente importante cuando se construyen plantas pequeñas, donde la planificación y la supervisión juegan un papel determinante en la economía. Otra manera de disminuir costos de mano de obra de construcción y operación de plantas pequeñas, es mediante la participación activa de los usuarios.

9. ACTIVIDADES REALIZADAS POR PESENCA EN EL CAMPO DEL BIOGAS

En este campo PESENCA ha desarrollado actividades que comprenden:

- Construcción de biodigestores.
- Instalación de aparatos operados a biogás.
- Asesoramiento a los usuarios en la operación y el mantenimiento de plantas y aparatos.
- Evaluación del consumo y producción reales de algunas de las plantas.
- Ensayos a nivel de laboratorio, para evaluar el potencial de la materia prima utilizada.
- Adaptación y evaluación de aparatos operados con gas propano para ser usados con biogás.
- Diseño y construcción de lámparas a biogás.
- Ensayos a nivel de campo con el efluente como abono en diferentes cultivos, para evaluar su rendimiento y producción.
- Divulgación del programa de biogás por medio de publicidad, conferencias, seminarios, etc.

Desarrollo del Programa de Biogás

El Programa de Biogás de PESENCA comenzó en 1.987 mediante el entrenamiento en construcción de plantas de biogás de dos técnicos, quienes formaron posteriormente sus empresas constructoras de biodigestores.

El principal problema observado en las plantas iniciales fue el de escapes de gas por la cúpula, lo que se controló y corrigió realizando las pruebas correspondientes, y mejorando la calidad de los materiales de construcción, así como el acabado.

Las primeras plantas fueron construidas con un fin demostrativo en diversas instituciones, y financiadas totalmente por PESENCA; actualmente los costos son cubiertos en su totalidad o en su mayor parte por los usuarios.

Plantas construidas

Las plantas construidas por PESENCA son de dos tipos: balón y cúpula fija, y están localizadas en los departamentos de Atlántico, Magdalena, Sucre, Córdoba, Cesar y Guajira. Sus capacidades van desde los 5 m³, hasta los 50 m³.

En estos sitios el biogás se utiliza principalmente en cocción e iluminación. La tabla 17 muestra el resumen de las plantas construidas.

Métodos de evaluación de plantas construidas

La evaluación que se efectúa consiste en medir la producción específica de gas y los grados de fermentación, y definir las capacidades de almacenamiento reales en las plantas construidas.

La producción de biogás diaria se puede establecer midiendo con contadores el gas producido durante 24 horas. Esto se realiza en diferentes días, para luego calcular una producción diaria promedio. Después, la producción específica de la planta se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Producción (m}^3\text{/kg)} = \text{producción diaria (m}^3\text{)/kg de carga diaria}$$

TABLA 17

PLANTAS DE BIOGAS CONSTRUIDAS POR PESENCIA
(A Mayo 30 de 1992)

SITIO DE LA PLANTA	LOCALIZACION	TIPO DE BIOMASA	VOLUMEN DIGESTOR (M3)	PRODUCCION DIARIA DE GAS (M3)	USOS	COSTOS CONSTRUCCION (US\$)	COSTOS/M3 DE DIGESTOR (US\$)	FECHA DE CONSTRUCCION
DOBLE PROPOSITO MOTILONIA (ICA)	CODAZZI (CESAR)	ESTIERCOL VACUNOS	30.0	11.63	COCCION	3840.87	128.03	MARZO/88
FINCA SANTA RITA APROOVEJAS	OVEJAS (SUCRE)	ESTIERCOL VACUNOS	24.0	9.75	COCCION ABONO	2085.71	86.90	JULIO/88
ESCUELA INDIGENA AREMASAIN	RIOHACHA (GUAJIRA)	ESTIERCOL VACUNO, PORCINOS	21.2	8.60	COCCION HORNO ABONO	2050.77	96.73	OCTUBRE/88
INSTITUTO AGRICOLA CARRAIPIA	MAICAO (GUAJIRA)	ESTIERCOL VACUNOS	25.6	10.83	COCCION ABONO	3330.82	130.11	OCTUBRE/88
CENTRO AGROPECUARIO EL PORVENIR (SENA)	VIA A TIERRA ALTA (CORDOBA)	ESTIERCOL PORCINOS	5.7	2.80	COCCION CALENTADOR DE LECHONES ABONO	1043.81	183.12	ENERO/89
SECCION PORCINOS GRANJA TURIPANA (ICA)	MONTERIA (CORDOBA)	ESTIERCOL PORCINOS	5.0	2.80	COCCION, EVALUACION EQUIPOS	361.63	72.32	ABRIL/89
CASERIO POTRERITO DE LAS LATAS	FONSECA (GUAJIRA)	ESTIERCOL VACUNOS	18.4	7.50	ILUMINACION COCCION ABONO	3001.35	163.11	DICIEMBRE/89
VEREDA PALMAS DE VINO	LOS PALMITOS-SUCRE	ESTIERCOL VACUNOS	5.0	2.11	COCCION ABONO	1109.25	221.85	MARZO/90
FINCA LA CULEBRA	SAHAGUN (CORDOBA)	ESTIERCOL PORCINOS	10.4	5.63	COCCION ILUMINACION	1456.13	140.01	ABRIL/90
GRANJA PORKILANDIA	SANTA MARTA (MAGDALENA)	ESTIERCOL PORCINOS	25.0	13.00	COCCION ILUMINACION ABONO	1657.33	66.29	MAYO/90
PREDIO EL PRADO	PALMAS DE VINO (SUCRE)	ESTIERCOL VACUNOS	5.0	2.27	COCCION ABONO	840.71	168.14	MAYO/90
FINCA SI LO VIERES	VALENCIA (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	5.0	2.27	COCCION ABONO	838.20	166.44	JUNIO/90

El grado de fermentación se calcula así:

Grado Fermentación (%) = Producción específica de la planta/producción total específica de biogás del material de carga

Este último dato se halla a nivel de laboratorio, o se pueden tomar datos promedios dados por la literatura.

**PLANTAS DE BIOGAS CONSTRUIDAS POR PESENCIA
(A Mayo 30 de 1992)**

SITIO DE LA PLANTA	LOCALIZACION	TIPO DE BIOMASA	VOLUMEN DIGESTOR (M3)	PRODUCCION DIARIA GAS (M3)	USOS	COSTOS CONSTRUCCION(US\$)	COSTOS/M3 DE DIGESTOR (US\$)	FECHA DE CONSTRUCCION
FINCA CASA NUEVA	VALENCIA (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	5.0	2.27	COCCION ABONO	901.90	180.38	JULIO/90
FINCA AGUAS VIVAS	LORICA (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	10.0	5.63	COCCION ABONO	953.00	190.60	SEPTIEMBRE/90
FINCA EL CORTIJO	SAN CARLOS (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	5.0	2.27	COCCION ABONO	884.00	176.80	SEPTIEMBRE/90
FINCA AGUAS MOHOSAS	SAN ANDRES SOTAVENTO (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	10.0	5.63	COCCION ABONO	953.00	190.60	NOVIEMBRE/90
FINCA LA ISLA	SAHAGUN (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS PORCINOS	30.0	12.00	QUESERA ABONO	1339.00	44.60	ENERO/91
FINCA VILLA OLGA	MONTERIA (CORDOBA)	ESTIERCOL PORCINOS	10.0	5.63	COCCION ILUMINACION ABONO	1255.30	125.50	FEBRERO/91
EL CEIBAL	MONTERIA (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	15.0	6.10	OPERACION MOTOR	1294.00	86.20	MARZO/91
HATO EL SOCORRO	SAHAGUN (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	30.0	12.20	QUEMADOR INDUSTRIAL	1415.50	47.10	ABRIL/91
FINCA EL MILAGROSO	SITIONUEVO (MAGDALEN)	ESTIERCOL VACUNOS	23.0	9.3	COCCION ILUMINACION	1239.10	53.80	ABRIL/91
FINCA NUEVA ESPERANZA	CHINU (CORDOBA)	ESTIERCOL VACUNOS	15.0	6.1	COCCION ILUMINACION	1024.20	68.20	OCTUBRE/91
FINCA EL CADILLAL (*)	TUBARA (ATLANTIC)	ESTIERCOL VACUNOS	10.0	5.63	COCCION ILUMINACION	495.00	49.00	DICEMBRE/91
FINCA EL SOCORRO	BOSCONIA (CESAR)	ESTIERCOL VACUNOS	50.0	21.00	COCCION ILUMINACION	1808.00	34.80	FEBRERO/92

(*): Planta Tipo Balón.

NOTA: El costo de los proyectos en US\$ corresponde al cambio del dólar a la fecha de construcción.

Relacionando el volumen del depósito de gas con la producción diaria de la planta (medida a nivel de campo) puede determinarse la capacidad de almacenamiento de gas. Es importante anotar que estas mediciones deben realizarse luego de que el proceso se haya estabilizado.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos realizados a nivel de laboratorio se dirigieron a establecer las producciones específicas de biogás, a partir de diferentes materiales de carga, comunes en nuestro medio, y la incidencia del contenido de agua de la mezcla en la producción de biogás.

Se utilizó un montaje consistente en 12 minibiodigestores contruidos con tubería PVC, y cerrados herméticamente para mantener las condiciones anaeróbicas necesarias; también, se emplearon frascos de vidrio, mangueras, válvulas y probetas de 500 ml, los cuales fueron cargados con muestras de afluyente de las plantas.

Ensayo 1. Producción de biogás a partir de diferentes materiales de carga

Los materiales de carga utilizados fueron estiércol de ganado vacuno, de ganado porcino y una mezcla 1:1 de ambos. Se empleó una relación agua-estiércol de 1:1.

Los resultados mostraron un incremento del 40% aproximadamente en la producción total de biogás, a partir de una mezcla de estiércol de ganado vacuno y porcino, con respecto a la producción proveniente de estiércol vacuno exclusivamente.

La figura 19 indica que el estiércol de cerdo puede ofrecer mayor producción de biogás que su mezcla con vacuno, siempre y cuando se controle muy bien el proceso; esto se debe a que el cerdo digiere menos los alimentos, lo que hace que su estiércol sea mucho más rico en carbohidratos, proteínas y grasas, las principales sustancias utilizadas por las bacterias en el proceso de fermentación y producción de biogás.

Al utilizar estiércol de cerdo, el proceso de fermentación se detuvo en la etapa de acidificación, como lo demuestra el grado de acidez final de las muestras (pH=6,2); algo que sucede en muchas plantas de biogás alimentadas con este material de carga durante los primeros días. Una razón de esto puede ser el tipo de alimentación de los animales.

Ensayo 2. Efectos de la relación Agua:Estiércol en la producción de biogás

Los resultados de este ensayo permitieron comprobar que se presenta un aumento en la producción de biogás al disminuir el contenido de agua en la mezcla. A pesar de esto, por ventajas de funcionamiento (como evitar la formación de capa flotante) las plantas de biogás se cargan generalmente con una relación agua-estiércol 1:1. La figura 20 indica que las mayores producciones con las distintas relaciones se dieron hasta los 70 días.

Recomendaciones a partir de los análisis

- En verano, cuando el estiércol de los animales contiene menos agua, se recomienda aumentar la cantidad de este líquido en la mezcla para evitar que el efluyente salga muy espeso. En invierno es todo lo contrario, ya que es necesario contrarrestar la cantidad de agua que entra por el tanque de compensación y por el tubo de carga.

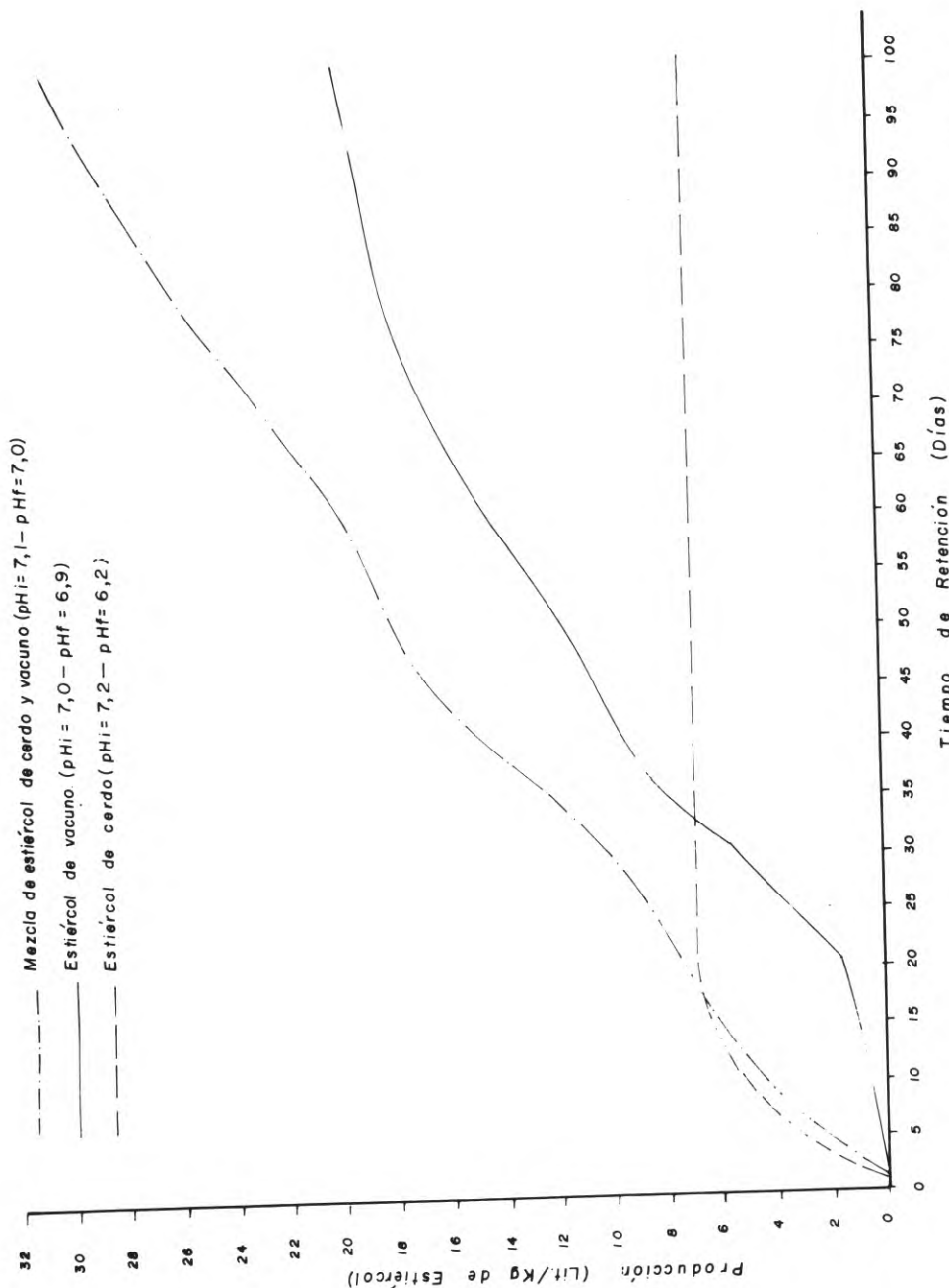
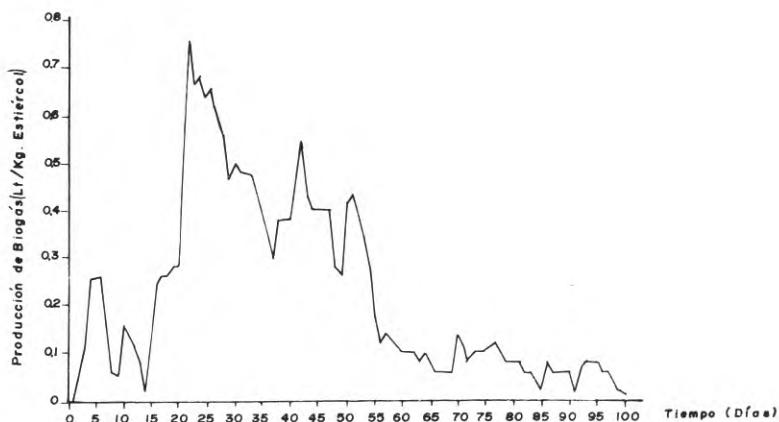


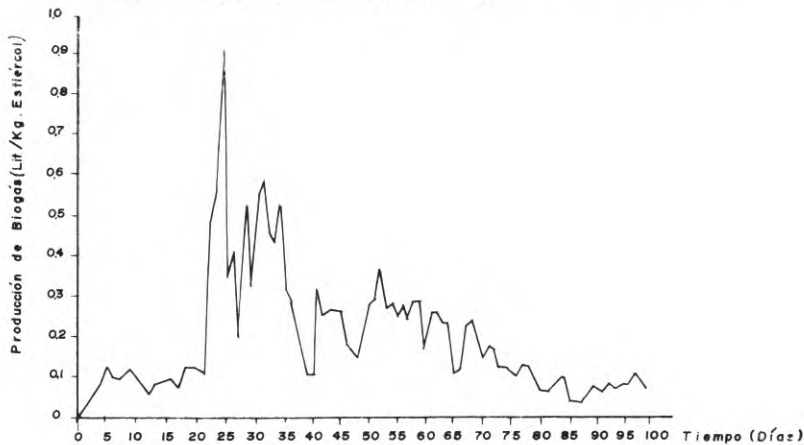
FIGURA 19. PRODUCCION ESPECIFICA DE BIOGAS A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE ESTIERCOL

- En plantas que serán alimentadas con estiércol de porcinos, es conveniente utilizar en los primeros días una mezcla que contenga también material de ganado vacuno, hasta que el proceso se estabilice.

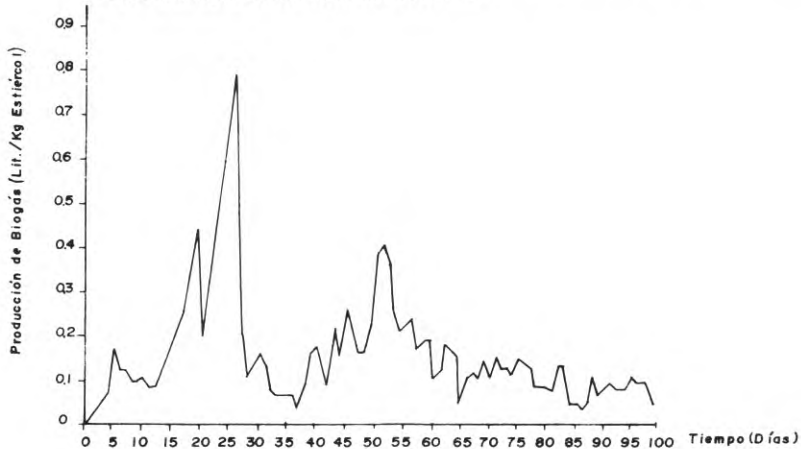
- Cuando sea posible, es más conveniente emplear una mezcla que contenga estiércol de vacunos y porcinos, en vez de utilizar solamente material de carga procedente de ganado vacuno, para obtener mayores producciones de gas.



PRODUCCION DE BIOGAS DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO A NIVEL DE LABORATORIO, RELACION AGUA ESTIERCOL 3/4:1



PRODUCCION DE BIOGAS DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO A NIVEL DE LABORATORIO, RELACION AGUA ESTIERCOL 1:1



PRODUCCION DE BIOGAS DEL ESTIERCOL DE GANADO VACUNO A NIVEL DE LABORATORIO, RELACION AGUA ESTIERCOL 11/4:1

FIGURA 20. CURVAS DE PRODUCCION DE BIOGAS DE ESTIERCOL DE VACUNOS CON DIFERENTES RELACIONES AGUA:ESTIERCOL.

Divulgación

En el aspecto de la divulgación se destacan acciones como, por ejemplo, la realización del primer seminario a nivel regional sobre diseño, construcción y manejo de plantas de biogás, efectuado por PESENCA en las instalaciones de la Granja Experimental del ICA - Turipaná, en la ciudad de Montería, Córdoba, en febrero de 1.991. A este seminario taller asistieron 25 funcionarios de diferentes entidades nacionales como ICA, INCORA, PNR, CORFAS, SENA, y personas particulares interesadas en la tecnología. El entrenamiento se llevó a cabo de una manera teórico-práctica, ya que se incluyó la construcción de una planta tipo cúpula fija de 10 m^3 , en las cercanías de Montería.

El objetivo del evento, que hace parte de los planes de divulgación, fue el entrenamiento de profesionales de la construcción como potenciales empresarios de plantas de biogás, para que de esta forma se convirtieran en multiplicadores de la tecnología, ya sea dentro de sus instituciones, o como promotores particulares, con la asesoría técnica permanente de PESENCA.

Otras formas de divulgación que se han utilizado son: publicidad, charlas, videos y folletos.

BIBLIOGRAFIA

1. Acuña, Miguel. Manual Técnico para Construcción y Mantenimiento de Biodigestores. INE, 1984.
2. Chaúr, Jairo. El Biogás. Tibaitatá: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 1987.
3. Demant, D; Sckeyde, A y Ulrich, A. Possible Application of Bioslurry for the Purposes of Fertilization. Biogas Forum. Bremen: Borda, 1990.
4. Finck, Horst y Oelert Gerhard. Guía para el cálculo de rentabilidad de proyectos de inversión para el abastecimiento de energía. Eschborn: GTZ, 1985.
5. Hees, Nicolai; Stöhr, Ulrich y Werner, Uli. Biogas Plants in Animal Husbandry. Eschborn: GTZ, 1989.
6. Hohfeld, Jensy y Sasse, Ludwing. Production and Utilization of Biogas in Rural Areas of Industrialized and Developing Countries. Eschborn: GTZ, 1985.
7. Meynell, Peter-John. Methane: Planning a Digester. Great Britain: Prism Press, 1982.
8. Muche, Helmut y Zimmermann, Harald. La purificación del biogás. Alemania: Vieweg/GTZ, 1985.
9. Proyecto GTZ-CVC-OEKOTOP. Difusión de la Tecnología del Biogás en Colombia. Documentación del Proyecto. Cali: GTZ, 1987.
10. Sasse, Ludwing. La Planta de Biogás. Eschborn: GTZ, 1984.
11. SEP. Dissemination of Biogas Plants in the Rural Areas of Kenya. Nairobi: GTZ, 1987.
12. Stuckey, David. Technology Assessment Study of Biogas in Developing Countries. Duebendorf, Switzerland: IRCWD, 1983.
13. Von Mitzlaff, Klaus. Engines for Biogas. Eschborn: GTZ, 1988.

ANEXO 1

GLOSARIO DE CONCEPTOS

GLOSARIO DE CONCEPTOS

Proceso anaeróbico: Es un proceso de descomposición o fermentación de material orgánico que necesita la ausencia de oxígeno para que se realice.

Bacterias aeróbicas: Bacterias que no pueden sobrevivir sin el contacto con el aire.

Bacterias anaeróbicas: Bacterias que existen solo en condiciones de ausencia de oxígeno.

Bacterias facultativas: Bacterias que pueden ser selectivamente aeróbicas o anaeróbicas.

Sólidos totales (TS): Se mide en kg TS/m³ del material de fermentación, generalmente se expresa como porcentaje del peso.

El total del material seco está compuesto por una parte orgánica o volátil y otra inorgánica. El contenido de sólidos varía ampliamente según el tipo de sustrato. El porcentaje apropiado para el funcionamiento de una planta de carga continua va del 5 - 10%, en una planta de carga tipo batch puede llegar hasta un 25%. En las plantas continuas un contenido de TS de 15% o más tiende a inhibir el proceso, por lo que se recomienda diluir el sustrato con agua cuando el contenido de sólidos es grande.

Carga volumétrica: Se expresa en términos de los m³ de mezcla con que se alimenta el biodigestor.

Carga del digestor: Se expresa en términos de los m³ de sólidos volátiles (VS)/m³ de digestor (Vd)/día. La carga del digestor depende de 4 factores: tipo de sustrato, temperatura, carga volumétrica y tipo de planta. Para una planta de diseño simple el límite máximo de carga es de 1.5 kg SV/m³ Vd/día; cargas excesivas pueden producir disturbios en el proceso, tales como estancamiento en la fase ácida debido a la presencia de mayor cantidad de material de fermentación, que de bacterias metanogénicas.

Tiempo de retención: Es el tiempo durante el cual el material de fermentación permanece en el digestor, y es el tiempo necesario para completar la fermentación; por razones de economía en la operación generalmente se selecciona un tiempo de retención técnico menor que el necesario.

Producción específica de biogás: Se refiere a la cantidad de biogás que puede obtenerse de un tipo de sustrato a una temperatura y un tiempo de retención determinados. Se expresa en m³ de gas/ m³ de TS.

Producción diaria de biogás: Es la cantidad de biogás que se obtiene diariamente en la planta (m^3 gas/día), también puede relacionarse con el volumen del digestor (m^3 gas/ m^3 de digestor/día) sirviendo como indicador de la eficiencia para la planta en cuestión.

Grado de fermentación: Es el porcentaje que indica la cantidad de material que se ha fermentado al salir del biodigestor. Se obtiene a partir de la relación entre la producción diaria de gas y la producción específica absoluta del material; la diferencia con respecto al 100% indica cuánto material no se ha fermentado.

Capacidad de almacenamiento: Se obtiene a partir de la relación del volumen del depósito de gas y la producción diaria de gas. Se expresa como porcentaje.

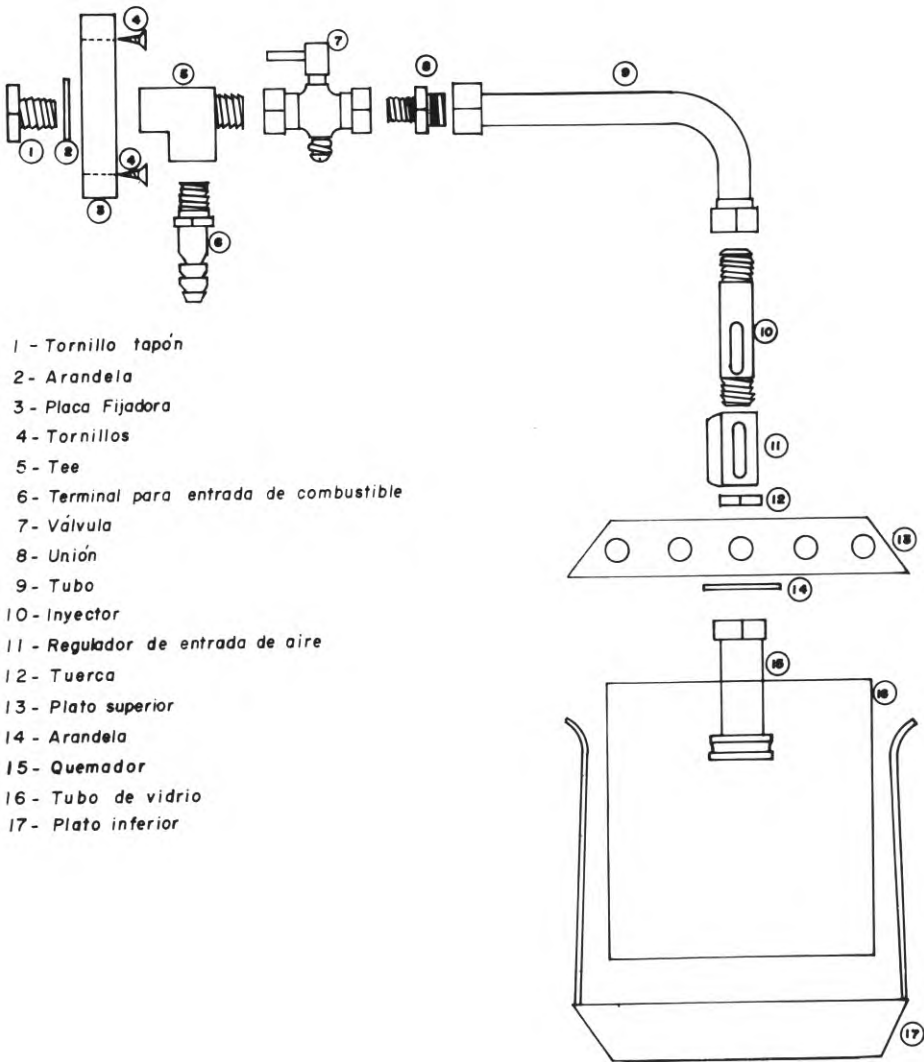
Tiempo de amortización: Período en el que se recupera por flujos el capital colocado en un proyecto de inversión.

Vida útil: Período durante el cual se utiliza o ha de utilizarse económicamente un objeto de inversión. La vida útil puede ser menor que la total, pero generalmente se supone que ambas son iguales.

ANEXO 2

DISEÑO DE LAMPARA DESARROLLADA POR PESEÑA Y
RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA LAMPARA

DISEÑO DE LAMPARA DESARROLLADA POR PESENCÁ



RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA LAMPARA

Con el fin de evitar accidentes, la lámpara no debe instalarse cerca a techos de palma, ni a paredes que puedan incendiarse fácilmente.

Para utilizar la lámpara se recomienda seguir las siguientes instrucciones:

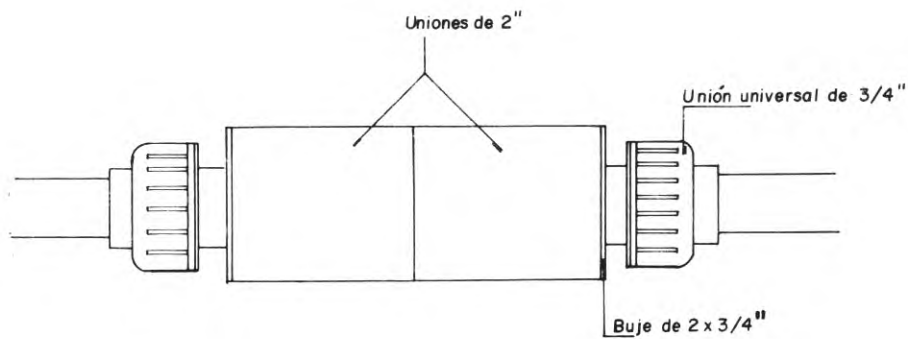
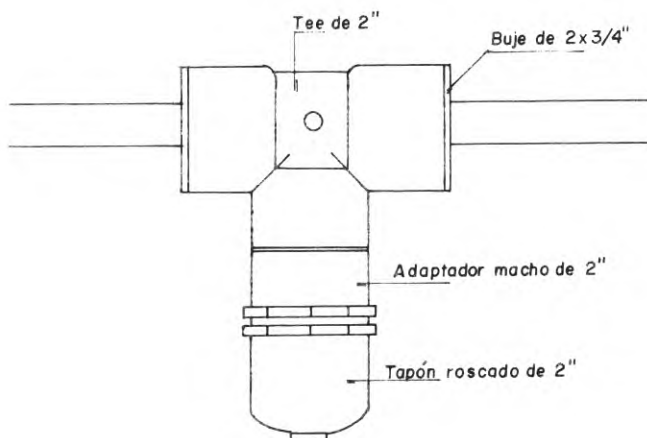
- Retire el plato inferior, con el tubo de vidrio presionando un poco las platinas de aluminio hacia adentro.
- Amarre firmemente la caperuza al quemador.
- Coloque el plato inferior de tal forma que las platinas de aluminio encajen en las mismas ranuras del plato superior, en que se encontraban inicialmente. Verifique que quede bien ajustado.
- La caperuza no debe tapar totalmente el orificio del plato inferior, ya que esto impide que la llama ascienda por la caperuza.
- Abra la válvula y espere hasta que el biogás desaloje parcialmente el aire que se encuentra dentro de la lámpara.
- Encienda una cerilla o fósforo y acérquelo al orificio del plato inferior. Espere hasta que la caperuza se quemé totalmente.
- Regule la intensidad de luz accionando la válvula y el regulador de entrada de aire.
- Por ningún motivo toque el tubo de vidrio de la lámpara con las manos u objetos mojados cuando esté caliente; evite también que le caigan gotas de agua, ya que esto puede ocasionar su rotura.
- Cuando no utilice la lámpara, cierre totalmente la válvula y tape las ranuras del inyector con el regulador de entrada de aire; esto evita que arañas u otros insectos entren al inyector, obstruyéndolo.
- Si la lámpara no enciende bien, o su iluminación es baja, verifique que no haya obstrucciones en el inyector y en el quemador. Para eliminar cualquier taponamiento, retire el plato inferior con el tubo de vidrio, desenrosque el quemador tratando de no dañar la caperuza, y limpie su interior; retire el plato superior y el inyector, limpie el inyector, y vuelva a armar la lámpara.

ANEXO 3

DISEÑO DE TRAMPA DE ACIDO SULFIDRICO

ELABORACION DE TRAMPA DE ACIDO SULFIDRICO

(ACCESORIOS DE P.V.C)



ANEXO 4

FORMATOS PARA EJECUCION DE PLANTAS



PESENC

Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica - CORELCA

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - G m b H - GTZ

INFORMACION PRELIMINAR

PARA PLANTAS DE BIOGAS

INFORMACION GENERAL

FECHA DE VISITA: _____

NOMBRE DE LA FINCA: _____

NOMBRE DEL PROPIETARIO: _____

MUNICIPIO: _____

DEPARTAMENTO: _____

TEMPERATURA AMBIENTE: _____

TIPO DE TERRENO: _____

NIVEL FREATICO: _____

DISPONIBILIDAD DE AGUA: _____

DISTANCIA DE LOS ESTABLOS A LA CASA: _____

INFORMACION SOBRE LA MATERIA PRIMA

No GANADO VACUNO: _____ PESO VIVO PROMEDIO _____

No GANADO PORCINO: _____ PESO VIVO PROMEDIO _____

OTRO TIPO DE GANADO: _____ PESO VIVO PROMEDIO _____

POTENCIAL FUTURO DE GANADO: _____

COMO SE DISPONE DE AGUAS RESIDUALES DE SANITARIOS _____

ESTABLO TIENE PISO DE TIERRA O PAVIMENTO: _____

FORMA DE RECOLECCION DEL ESTIERCOL: _____

SISTEMA DE LAVADO DE LOS ESTABLOS: _____

CUANTAS VECES AL DIA SE LAVAN: _____

SISTEMA DE DESAGUE DE LAS AGUAS DE LAVADO: _____

SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL DE LOS DESECHOS: _____

INFORMACION SOBRE POSIBLES USOS DEL BIOGAS

COMBUSTIBLE USADO ACTUALMENTE EN COCCION: _____

No PERSONAS QUE COMEN REGULARMENTE: _____

HORAS DE COCCION: DE _____ A _____ DE _____ A _____

DE _____ A _____

CONSUMO DEL COMBUSTIBLE USADO EN ILUMINACION: _____

CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR OTROS USOS: _____

OTROS POSIBLES USOS PARA EL BIOGAS: _____

INFORMACION SOBRE POSIBLE USO DEL BIOABONO

TIPOS DE CULTIVOS EXISTENTES: _____

AREA CULTIVADA: _____

TIPO DE ABONO UTILIZADO: ORGANICO _____ QUIMICO _____

ESTIERCOL FRESCO _____

CANTIDAD UTILIZADA MENSUALMENTE: _____

PRODUCCION TOTAL ANUAL: _____

OBSERVACIONES: _____

FORMATO DE SEGUIMIENTO
DE PLANTAS DE BIOGAS



PEÑON VIEJO

Nombre de la planta: _____

Localización: _____

Municipio: _____

Departamento: _____

Fecha de visita: _____

INFORMACION DE LA PLANTA

Presión de gas (Cm Columna de H₂O) _____

Nivel tanque compensación: _____

Planta sobrecargada(s/n): _____

Carga diaria actual (m³): _____

Se usan medicamentos o antibióticos para los animales (s/n),
y cuales? _____

Existen burbujas en el sello de agua?: _____

Nivel agua trampa condensación: _____

Estado de tanques (mezcla y compensación): _____

Estado manómetro: _____

Observaciones: _____

INFORMACION DE APARATOS

No estufas: _____ Horas funcionando _____

No lámparas: _____ Horas funcionando _____

Existen fugas en accesorios: Sí _____ No _____

Biogas arde (s/n): _____

En la noche se escapa el gas por el tanque de mezcla o por las
trampas de condensación: _____

El gas alcanza para el consumo requerido: _____

Volumen de gas consumido/día: _____

Observaciones: _____

INFORMACION EFLUENTE

Tiene muchas burbujas en la superficie? _____

Tiene mal olor? _____

La apariencia es: muy líquida _____ espeso _____
medio _____

Usos dado al efluente

Abono _____ Cantidad diaria _____

Piscicultura _____ Cantidad diaria _____

Concentrados _____ Cantidad diaria _____

Hace cuanto tiempo se usa _____

Resultados Observados _____

Recomendaciones _____

FORMATO DE INTERVENTORIA
DE PLANTAS DE BIOGAS



Nombre de la planta: _____

Propietario: _____

Localización: _____

Municipio: _____

Departamento: _____

Tipo de terreno: _____

PEZENCA

VISITA No 1

Fecha de realización: _____

Cantidad de materiales según propuesta

Ladrillos _____ Cemento _____ Arena _____

Grava _____

Calidad de materiales según especificaciones _____

Diámetro excavación biodigestor: _____

Acero placa de fondo: _____

Fundida de losa biodigestor: _____

Dimensiones anillo perimetral: _____

VISITA No 2

Diámetro biodigestor: _____

H Boca tubo de entrada: _____

H Boca tubo de salida: _____

Nivel base tanque de compensación: _____

Diámetro tanque compensación: _____

H Util tanque de compensación: _____

Tanque de mezcla: Ancho _____ Largo _____ H _____

Pañete interior biodigestor: _____

Recomendaciones: _____

VISITA No 3

No. trampas condensación colocadas: _____

Sitio de colocación: _____

Longitud trampas de condensación: _____

Registros trampa de condensación: _____

Impermeabilización biodigestor: _____

Impermeabilización tanque compensación: _____

Instalación manómetro: _____

Altura de tubo de salida de gas: _____

Instalación de tubería de conducción de gas: _____

Recomendaciones: _____

Se realizaron los cambios recomendados (s/n) _____

Fecha de recibo de obra: _____

Recibida por: _____

Firma Interventor

Firma Contratista

ANEXO 5

ESTANDARIZACION DE PLANTAS DE CUPULA FIJA

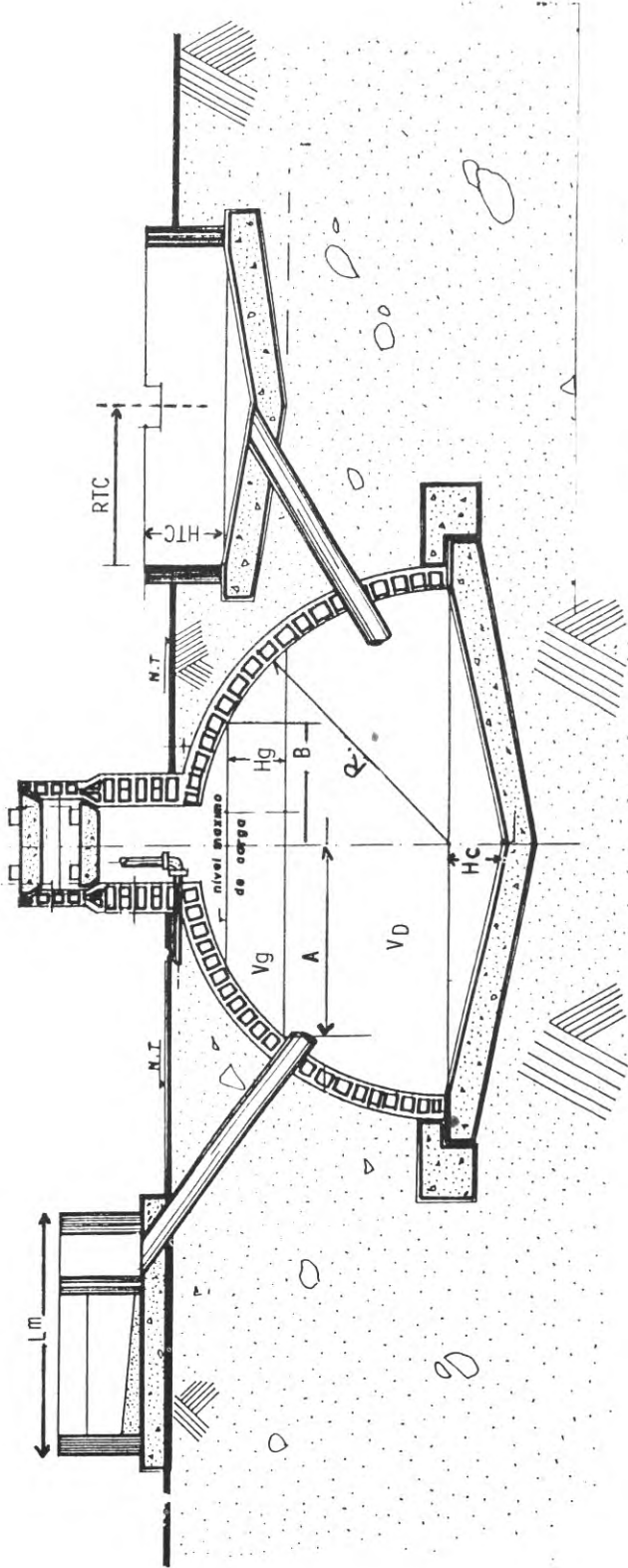
ESTANDARIZACION DE BIODIGESTORES DE CUPULA FIJA
con TR = 40 días y capacidad de almacenamiento 40-60%

VOLUMEN DIGESTOR (m ³)	RADIO (m)	HC (m)	VE (m ³)	VC (m ³)	HG (m)	VG (m ³)	A (m)	B (m)	CARGA NECESARIA (Kg)	PRODUCCION GAS (m ³)	RTC (m)	HTC (m)
5.04	1.30	0.25	4.60	0.44	0.38	1.22	1.14	0.83	62.5	2.03	0.88	0.5
10.2	1.65	0.30	9.40	0.86	0.52	2.46	1.43	0.95	125.0	4.06	1.25	0.5
13.4	1.80	0.35	12.2	1.18	0.58	3.18	1.55	0.99	162.5	5.30	1.42	0.5
15.7	1.90	0.35	14.36	1.32	0.61	3.65	1.62	1.02	187.5	6.10	1.52	0.5
17.1	1.95	0.40	15.53	1.59	0.65	4.1	1.67	1.04	212.5	6.90	1.62	0.5
20.7	2.08	0.40	18.84	1.81	0.66	4.53	1.75	1.07	250.0	8.10	1.70	0.5
23.0	2.15	0.45	20.80	2.17	0.70	5.14	1.82	1.10	287.5	9.34	1.80	0.5
25.9	2.24	0.45	23.50	2.36	0.70	5.38	1.86	1.12	312.5	10.15	1.85	0.5
30.0	2.40	0.45	28.95	2.70	0.70	5.70	1.96	1.15	375.0	12.20	1.90	0.5
33.8	2.45	0.49	30.8	3.08	0.70	6.00	1.97	1.17	412.5	13.40	1.95	0.5
35.9	2.50	0.50	32.7	3.20	0.70	6.10	2.00	1.20	437.5	14.20	1.97	0.5

R = Radio interior del digestor
 VE = Volumen real del digestor
 Hg = Altura imaginaria del gas
 A = Radio inferior del segmento Vg
 RTC = Radio del tanque de compensación

HC = Altura del cono inferior
 VC = Volumen del cono
 Vg = Volumen del gas calculado
 B = Radio superior del segmento Vg
 HTC = Altura del tanque de compensación

PLANTAS DE CUPULA FIJA



ANEXO 6

METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MATERIALES

METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE MATERIALES DE BIODIGESTORES

Abreviaturas utilizadas

A1= Area del biodigestor
A2= Area del tanque de compensación
A3= Area del tanque de mezcla
A4= Area inferior del cuello
A5= Area superior del cuello
Rb= Radio del biodigestor
Rc= Radio del tanque de compensación
Hm= Altura útil del tanque de mezcla
Hc= Altura útil del tanque de compensación
Bm= Ancho del tanque de mezcla
Bc= Ancho del tanque de compensación
Lm= Longitud del tanque de mezcla
Nl= Número de ladrillos
SC= Sacos de cemento de 50 kgs

A. Cálculo de áreas (A)

- Area biodigestor (A1): $2 \times \pi \times Rb^2$
- Area tanque de compensación (A2): $2 \times \pi \times Rc \times Hc$
- Area tanque de mezcla (A3): $2 \times Bm \times Hm + 2 \times Lm \times Hm$
- Area cuello inferior (A4): $\pi \times 0.60 \times 0.4$
- Area cuello superior (A5): $\pi \times 0.25 \times 0.7$

B. Volumen total de concreto 1:2:3

Concreto de losas: $\pi \times Rb^2 \times 0.15 + \pi \times Rc^2 \times 0.1$

C. Volumen del mortero de pega 1:3

$Mp: (A1 + A4 + A2 + A3) \times 0.04 + A5 \times 0.075$

D. Volumen de mortero para pañetes 1:5

V pañete: $(A1+A4+A5) \times 0.03 + A3 \times 0.025 + [(Bm+0.12) + (Lm + 0.12)] \times Hm \times 0.025 \times 2 + Ac \times 0.025 + 2 \times \pi \times (Rc+0.12) \times Hc \times 0.025$

E. Total concreto 1:2:4

1. Losa de tanque de mezcla: $Bm \times Lm \times 0.1$
2. Viga perimetral: $\pi \times (2 \times a + 0.24 + \text{Ancho viga}) \times \text{Ancho viga} \times H \text{ viga}$

donde, a = distancia del centro del digestor a la pared

3. Viga de amarre al nivel de losa: $\pi \times (2 \times Rb + 0.15) \times 0.15 \times 0.20$

F. Cálculo del número de ladrillos (NL)

$NL: (A1+A2+A3+A5) \times 60 \text{ ladrillos/m}^2 + A4 \times 100 \text{ ladrillos/m}^2$

G. Cálculo del número de bolsas de cemento (BC)

$BC: m^3 \text{ concreto } 123 \times 7 \text{ bolsas/m}^3 + m^3 \text{ mortero } 1:3 \times 9 \text{ bolsas/m}^3 + m^3 \text{ mortero } 1:5 \times 6 \text{ bolsas/m}^3 + m^3 \text{ concreto } 1:2:4 \times 6 \text{ bolsas/m}^3$

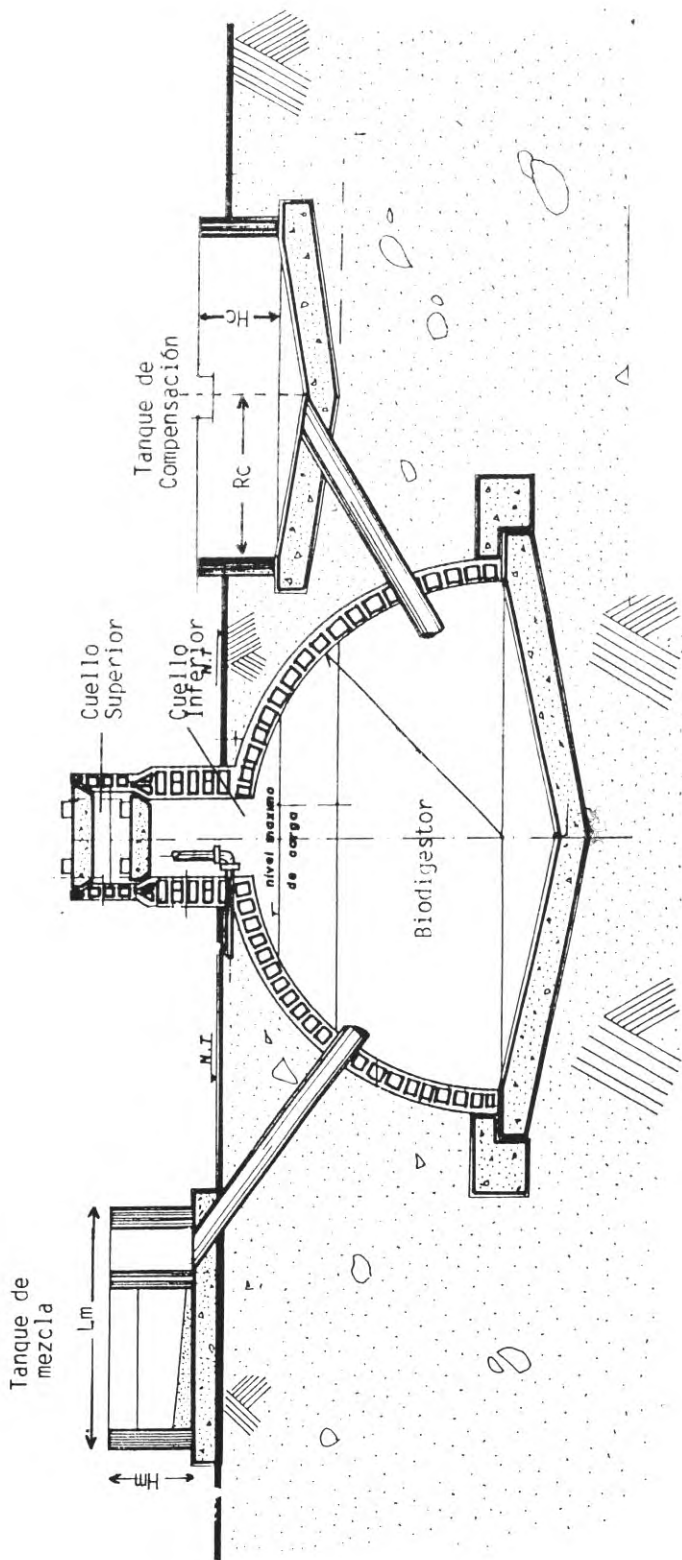
H. Metros cúbicos de arena (AR)

AR: m^3 concreto 123 x 0.55 + m^3 Concreto 1:2:4 x 0.5 + m^3 mortero
1:3 x 1.1 + m^3 mortero 1:5 x 1.2

I. Metros cúbicos de grava (GR)

GR: m^3 concreto 123 x 0.845 + m^3 concreto 124 x 0.95

COMPONENTES DE LA PLANTA DE BIOGAS



ANEXO 7

FACTORES DE CONVERSION Y FORMULAS

FACTORES DE CONVERSION

Longitud

1 cm = 0,3937 pulgadas
1 m = 3,2808 pies

Area

1 cm² = 0,1550 pulgadas²
1 m² = 10,7639 pies²
1 ha = 10.000 m²

Volumen

1 m³ = 35,315 pies³

Potencia

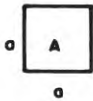
1 kW = 3412 Btu/h
1 hp = 0,745 kW

Energía

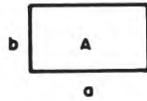
1 kWh = 3414 Btu
1 kJ = 0,948 Btu
1 kWh = 3,6 MJ
1 Kcal = 4,186 kJ
1 Btu = 1,055 kJ

Presión y Fuerza

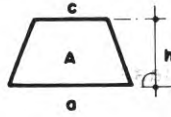
1 bar = 14,504 psi
1 bar = 100 kPa
1 pulgada H₂O = 0,248 kPa
1 N/m² = 0,0209 lb/pie²
1 pulgada H₂O = 249 N/m²
1 pulgada H₂O = 2,49 mbar
1 pulgada H₂O = 25,4 mmH₂O



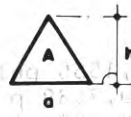
$$A = a^2$$



$$A = a \cdot b$$



$$A = \frac{a+c}{2} \cdot h$$



$$A = \frac{a \cdot h}{2}$$



$$A = \pi \cdot r^2$$

$$C = 2\pi \cdot r$$



$$A = \frac{\pi \cdot r^2}{2}$$

$$C = \pi \cdot r$$

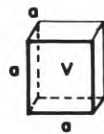


$$A = \pi(R^2 - r^2)$$

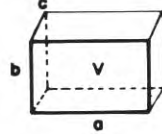
$$A = (R + r) \cdot \pi \cdot (R - r)$$



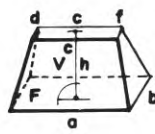
$$A = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \alpha}{360^\circ}$$



$$V = a^3$$



$$V = a \cdot b \cdot c$$

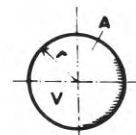


$$V = \frac{h}{3} (F + f + \sqrt{F \cdot f})$$

$$V = \frac{h}{3} (a + b + c + d)$$



$$V = \frac{a \cdot b \cdot h}{3}$$



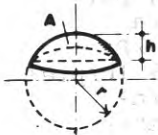
$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$$

$$A = 4\pi \cdot r^2$$



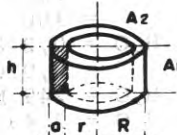
$$V = \frac{2}{3} \pi \cdot r^3$$

$$A = 2\pi \cdot r^2$$



$$V = \pi \cdot h^2 \cdot (r - \frac{h}{3})$$

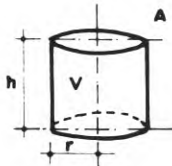
$$A = 2\pi \cdot r \cdot h$$



$$V = (R^2 - r^2) \cdot \pi \cdot h$$

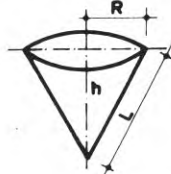
$$A_1 = 2\pi \cdot r \cdot h$$

$$A_2 = 2\pi \cdot R \cdot h$$



$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$A = 2\pi \cdot r \cdot h$$



$$V = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot h}{3}$$

$$A = \pi \cdot R \cdot L$$

$$R = \frac{L^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

FORMULAS GEOMETRICAS

MAMPOSTERIA Y RENDIMIENTO				CANTIDADES DE LADRILLO, MORTERO Y MANO DE OBRA POR M ²				PUNTILLAS			
CLASE DE LADRILLO	DIMENSIONES	ANCHO DE MURO	LADRILLO POR M ² DE MURO	CANTIDAD DE MORTERO		LADRILLO POR M ² DE MORTERO	MORA/HOMBRE POR M ² DE MAMPOST.	CON CABEZA		SIN CABEZA	
				LITROS	M ³			LONGITUD POR LIBRA	CANTIDAD POR LIBRA	LONGITUD POR LIBRA	CANTIDAD POR LIBRA
Tolite	7 x 12 x 25	0.07	32	1.5	0.018	2.000	1.5	1/2"	2.035	1/2"	3.243
Tolite	7 x 12 x 25	0.12	50	3.8	0.040	1.250	2.4	1"	941	3/8"	2.530
Tolite	7 x 12 x 25	0.25	100	9.6	0.075	1.000	4.8	1 1/2"	303	3/4"	2.014
Hueco N ²	5 x 23 x 38	0.05	12	6.85	0.060	1.613	1.7	2"	159	7/8	1.986
Hueco N ²	9 x 20 x 35	0.09	12	12.5	0.015	90.0	1.76	2 1/2"	104	1"	1.586
Hueco N ²	12 x 20 x 35	0.12	12	16.5	0.018	67.0	2.2	3"	57	1 1/4"	1.033
Hueco N ²	15 x 20 x 35	0.15	11	20	0.025	54.0	2.15	3 1/2"	39	1 1/2"	632
Hueco N ²	20 x 20 x 35	0.20	16	40	0.042	40.0	6.4	4"	23	2"	275
Bloque N ²	20 x 20 x 40	0.20	12	28	0.050	40.0	4.6	4 1/2"	22	2 1/2"	235
Bloque N ²	15 x 20 x 40	0.15	12	21	0.022	55.0	3.45	5"	16		
Bloque N ²	10 x 20 x 40	0.10	12	14	0.014	86.0	2.55	5 1/2"	14		
Bloque N ²	5 x 20 x 40	0.08	12	7	0.007	1.090	2.7	6"	12		
Bloque N ²	8 x 23 x 33	0.08									
Bloque N ²	12 x 23 x 33	0.12									

HIERROS CUADRADOS PARA REFUERZO

DIAMETRO	EN PULGADAS	2/8" - 1/4"	5/16"	3/8"	1/2" - 4/8"	5/8"	3/4" - 6/8"	7/8"	1" - 8/8"	1 1/2" - 12"
DENOMIN N ^o	N ^o Barra	N ^o 2	N ^o 2.5	N ^o 3"	N ^o 4	N ^o 5	N ^o 6	N ^o 7	N ^o 8	N ^o 12
PERIMETRO	Pulgadas	1.00	1.250	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	6.00
	Centimetro	2.54	3.180	3.81	5.08	6.35	7.62	8.89	10.16	15.24
AREA	Pulgadas ²	0.6225	0.6977	0.1405	0.25	0.3906	0.5625	0.7856	1.06	2.23
	Centimetro ²	0.4032	0.6303	0.9013	1.6129	2.5202	3.6295	4.9395	6.4516	14.516
PESO	Libras /Pulg.	0.210	0.330	0.480	0.85	1.33	1.91	2.60	3.40	7.65
	Kilogr. /Metro	0.1313	0.482	0.715	1.267	1.992	2.846	3.874	5.066	1.399

HIERROS REDONDOS 4/8" PARA 6/8" REFUERZO

DIAMETRO	EN PULG. Y Cms.	2/8" - 1/4"	5/16" - 0.794cm	3/8" - 0.953cm	1/2" - 1.27cm	5/8" - 1.5875cm	3/4" - 1.915cm	7/8" - 2.225cm	1" - 2.54cm	1 1/2" - 3.81cm
DENOMIN N ^o	N ^o Barra	N ^o 2	N ^o 2.5	N ^o 3	N ^o 4	N ^o 5	N ^o 6	N ^o 7	N ^o 8	N ^o 12
PERIMETRO	Pulgadas	0.7854	0.982	1.178	1.571	1.9640	2.3560	2.7490	3.1416	4.7120
	Centimetros	1.9950	2.49	2.994	3.99	4.9950	6.0000	6.9640	7.9600	15.2400
AREA	Pulgadas ²	0.0491	0.0767	0.1104	0.186	0.3070	0.4420	0.6013	0.7850	2.2500
	Centimetros ²	0.320	0.4948	0.713	1.267	1.9860	2.6650	3.6800	5.0600	14.5160
PESO	Libras / Pulgadas	0.170	0.260	0.360	0.670	1.3408	1.5000	2.0400	2.8700	7.6500
	Kilogr. /Metro	0.250	0.367	0.560	1.00	1.6000	2.2400	3.0410	3.9750	11.3990

MEZCLA		CONCRETO						RESISTENCIA A 28 DIAS		USOS MAS FRECUENTES DEL CONCRETO			
		CANTIDAD DE MATERIALES POR M ³			CANTIDAD DE MATERIALES POR M ³					MEZCLA		DIMENSION TRITURADA	USOS
C	A	G	CEMENTO KILOS	ARENA MTR ³	AGUA LTRS	GRAVILLA MTR ³	P. S. I.	KGM-CM ²	C	A	G		
1	2	2	420	6 1/2	0.670	2.00	0.670	3.100 - 3.700	1	2	3	0,02	PARA DINTALES DE PUERTAS Y VENTANAS
1	2	2 1/2	360	7 1/2	0.600	1.90	0.760	3.000 - 3.500	1	2	3	0,025	PARA TANQUES Y MUROS CON RESIST. A PRESION AGUA.
1	2	3	350	7	0.550	1.80	0.845	2.800 - 3.400	1	2	3	0,026	PARA CUBIERTAS Y LOSAS MACIZAS, REFORZADA
1	2	3 1/2	320	6 1/2	0.515	1.75	0.900	2.600 - 2.800	1	2	3	0,04	PARA ANDENES, PISOS Y CAMINOS.
1	2	4	300	6	0.500	1.70	0.930	2.000 - 2.500	1	2	4	0,025	PARDES, PISOS, VIGAS Y COLUMNAS EN CONCRETO REF.
1	2 1/2	4	260	5 1/2	0.555	1.78	0.890	1.900 - 2.400	1	2	4	0,04	CONCRETO RESISTENTE A VIBRACION.
1	2 1/2	4 1/2	260	5 1/4	0.520	1.63	0.940	1.700 - 2.000	1	2	4	0,05	CIMIENTO PARA LOS CUARTOS DE MAQUINAS
1	2 1/2	5	250	5	0.500	1.65	0.950	1.600 - 1.800	1	2	4		
1	3	4	260	6	0.720	1.70	0.720	1.400 - 1.700	1	2	4		
1	3	4	260	5 1/4	0.625	1.65	0.835	1.300 - 1.600	1	2	4		
1	3	5	230	4 1/2	0.555	1.60	0.920	1.100 - 1.400	1	2	4		
1	3	6	210	4	0.500	1.55	1.000	1.000 - 1.100	1	2	4		
1	4	7	175	3 1/2	0.550	1.45	0.980	840 - 1.000	1	2	4		
1	4	8	160	3 1/4	0.555	1.40	1.025	560 - 700	1	2	4		

MEZCLA		MORTEROS						RESISTENCIA A 28 DIAS		USOS MAS FRECUENTES DEL CONCRETO			
		CANTIDAD DE MATERIALES POR M ³ MEZCLA			CANTIDAD DE MATERIALES POR M ³ MEZCLA					MEZCLA		DIMENSION TRITURADA	USOS
C	A	G	CEMENTO KILOS	ARENA MTR ³	AGUA LITROS	RESISTENCIA KG/CM ²	P. S. I.	KGM-CM ²	C	A	G		
1	1	900	18	0.80	2.80	3.50	3.000	1.900	1	1	1		
1	2	610	12 1/4	0.97	2.50	4.00	3.700	1.610	1	1	1		
1	3	454	9	1.10	2.20	3.00	4.200	1.454	1	1	1		
1	4	364	7 1/4	1.16	2.00	2.20	3.100	1.364	1	1	1		
1	5	302	6	1.20	1.83	1.80	2.300	1.302	1	1	1		
1	6	261	5 1/4	1.20	1.70	1.40	2.500	1.261	1	1	1		
1	7	228	4 1/2	1.25	1.60	1.20	2.000	1.228	1	1	1		
1	8	203	4	1.25	1.50	1.20	1.900	1.203	1	1	1		
1	9	156	3 1/8	1.25	1.45	1.00	1.400	1.156	1	1	1		
1	10	166	3 1/3	1.25	1.40	90	1.300	1.166	1	1	1		
1	12	141	3	1.25	1.30	50	1.00	1.141	1	1	1		
1	14	116	2.36	1.26	1.25	30	700	1.116	1	1	1		

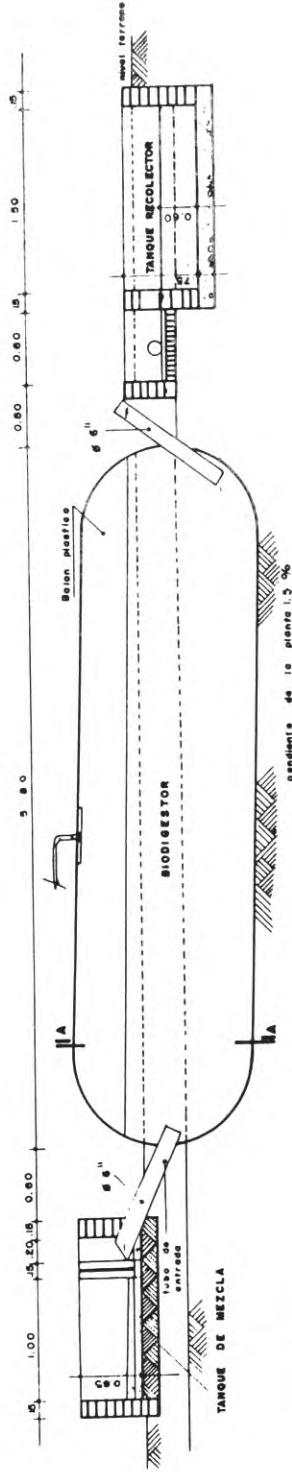
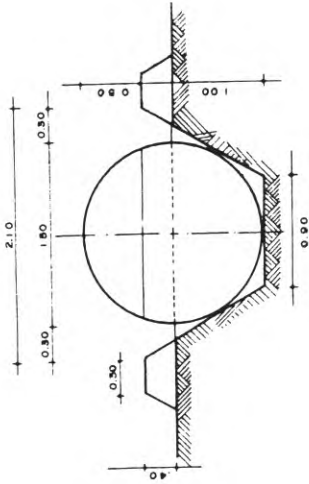
MEZCLA		MORTEROS C-A IMPERMEABLE						RESISTENCIA A 28 DIAS		USOS MAS FRECUENTES DEL CONCRETO			
		CANTIDAD MATER. POR M ³ MEZCLA			CANTIDAD MATER. POR M ³ MEZCLA					MEZCLA		DIMENSION TRITURADA	USOS
C	A	G	CEMENTO KILOS	ARENA MTR ³	AGUA LITROS	RESISTENCIA KG/CM ²	P. S. I.	KGM-CM ²	C	A	G		
1	1	900	18	0.80	2.80	3.50	3.000	1.900	1	1	1		
1	2	610	12 1/4	0.97	2.50	4.00	3.700	1.610	1	1	1		
1	3	454	9	1.10	2.20	3.00	4.200	1.454	1	1	1		
1	4	364	7 1/4	1.16	2.00	2.20	3.100	1.364	1	1	1		
1	5	302	6	1.20	1.83	1.80	2.300	1.302	1	1	1		
1	6	261	5 1/4	1.20	1.70	1.40	2.500	1.261	1	1	1		
1	7	228	4 1/2	1.25	1.60	1.20	2.000	1.228	1	1	1		
1	8	203	4	1.25	1.50	1.20	1.900	1.203	1	1	1		
1	9	156	3 1/8	1.25	1.45	1.00	1.400	1.156	1	1	1		
1	10	166	3 1/3	1.25	1.40	90	1.300	1.166	1	1	1		
1	12	141	3	1.25	1.30	50	1.00	1.141	1	1	1		
1	14	116	2.36	1.26	1.25	30	700	1.116	1	1	1		

MEZCLA		MORTEROS C-A IMPERMEABLE						RESISTENCIA A 28 DIAS		USOS MAS FRECUENTES DEL CONCRETO			
		CANTIDAD MATER. POR M ³ MEZCLA			CANTIDAD MATER. POR M ³ MEZCLA					MEZCLA		DIMENSION TRITURADA	USOS
C	A	G	CEMENTO KILOS	ARENA MTR ³	AGUA LITROS	RESISTENCIA KG/CM ²	P. S. I.	KGM-CM ²	C	A	G		
1	1	900	18	0.80	2.80	3.50	3.000	1.900	1	1	1		
1	2	610	12 1/4	0.97	2.50	4.00	3.700	1.610	1	1	1		
1	3	454	9	1.10	2.20	3.00	4.200	1.454	1	1	1		
1	4	364	7 1/4	1.16	2.00	2.20	3.100	1.364	1	1	1		
1	5	302	6	1.20	1.83	1.80	2.300	1.302	1	1	1		
1	6	261	5 1/4	1.20	1.70	1.40	2.500	1.261	1	1	1		
1	7	228	4 1/2	1.25	1.60	1.20	2.000	1.228	1	1	1		
1	8	203	4	1.25	1.50	1.20	1.900	1.203	1	1	1		
1	9	156	3 1/8	1.25	1.45	1.00	1.400	1.156	1	1	1		
1	10	166	3 1/3	1.25	1.40	90	1.300	1.166	1	1	1		
1	12	141	3	1.25	1.30	50	1.00	1.141	1	1	1		
1	14	116	2.36	1.26	1.25	30	700	1.116	1	1	1		

ANEXO 8

PLANOS DE BIODIGESTORES

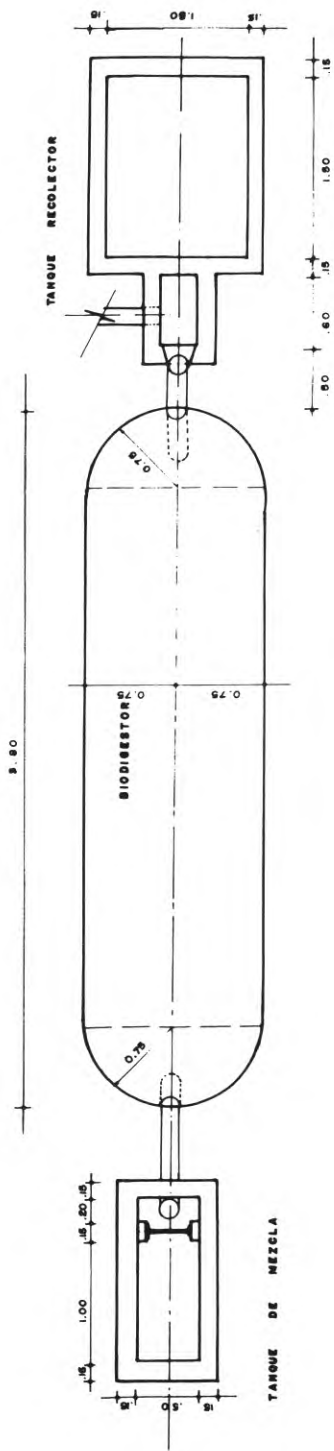
CORTE A-A



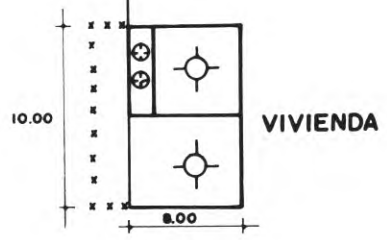
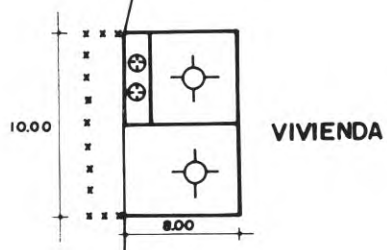
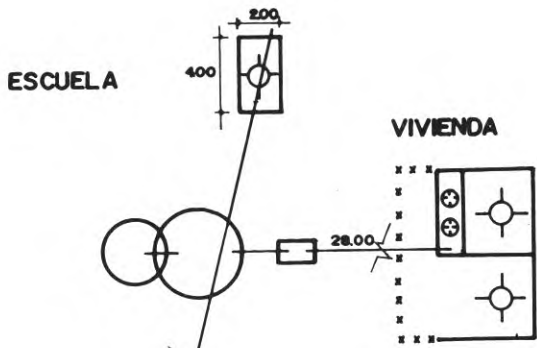
CORTE LONGITUDINAL

FINCA EL CADILLAL (TUBARA)	
CORTE DE BIOGAS	
TIPO BALON PLASTICO	
CORTE	
ESCALA : 1 : 50	DISEÑO : PESENCIA
PLANCHA :	FECHA :

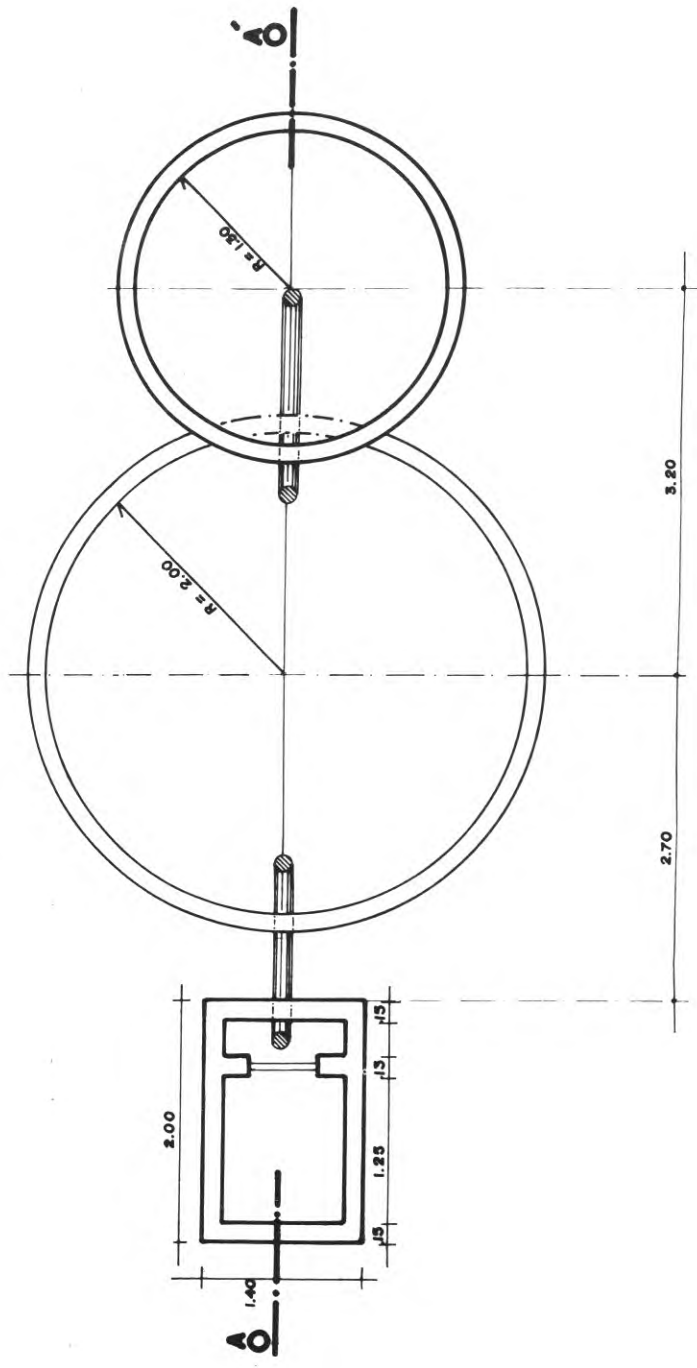
PLANTA Esc: 1:50



FINCA EL CADILLAL (TUBARA)	
PLANTA DE BIOGAS	
TIPO BALON PLASTICO	
PLANTA	
ESCALA	DISEÑO
1 : 50	PESENCIA
PLANCHA	FECHA



PROYECTO: PLANTA DE BIOGAS
 LOCALIZACION: POTRERITO DE LAS LATAS
 DISEÑO: PESENCIA



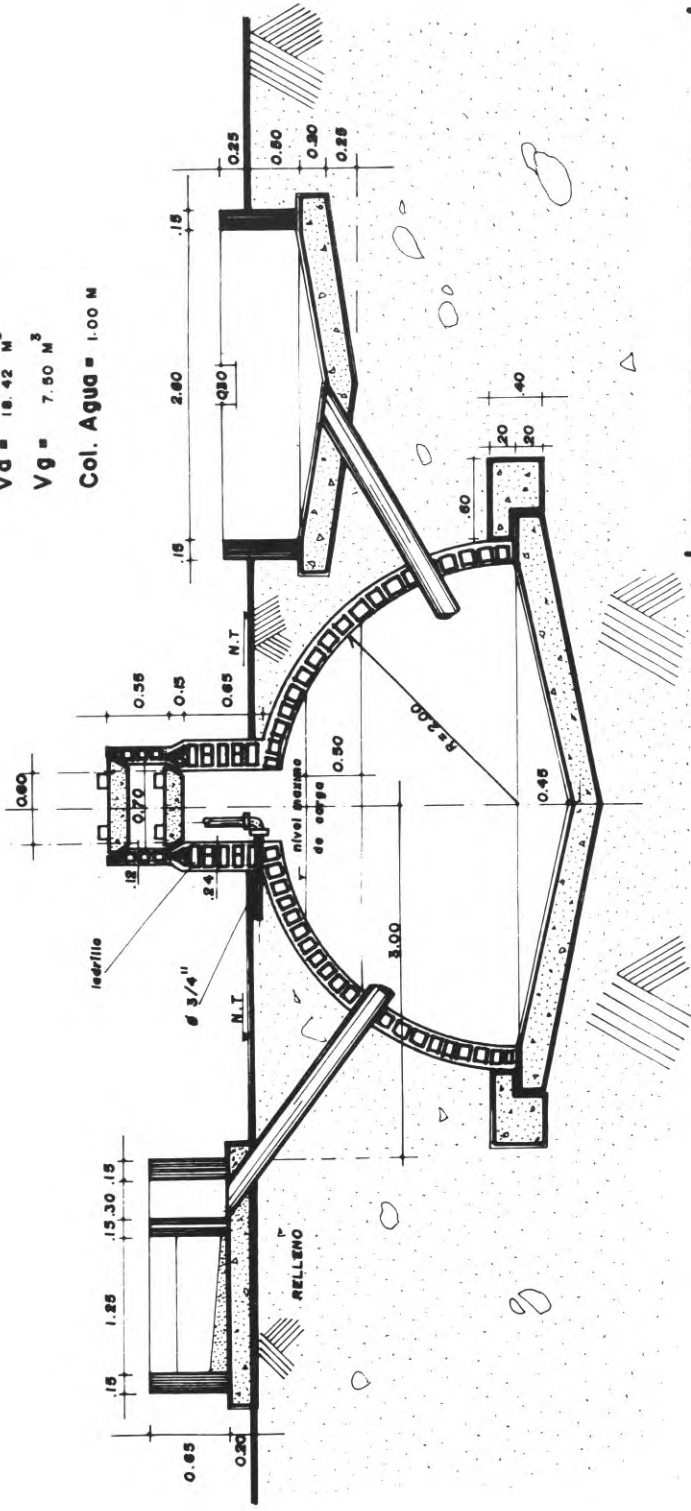
PROYECTO:	PLANTA DE BIOGAS
LOCALIZACION:	POTRERITO DE LAS LATAS
DISEÑO:	PESENCA

PLANTA DE BIOGAS

ESC. 1:50

CORTE A.A' ESC: 1:50

Vd = 18.42 M³
 Vg = 7.50 M³
 Col. Agua = 1.00 M



PROYECTO:	PLANTA DE BIOGAS
LOCALIZACION:	POTRERITO DE LAS LATAS
DISEÑO:	PESENCA

Impreso en
DOVEL Artes Gráficas
Barranquilla - Colombia
Julio 1.992

PROPIEDAD

ción Documentación
y Divulgación
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

FECHA DE DEVOLUCION
El préstamo de esta obra vence en la fecha
que señala el último sello

28 MAR. 1995			
31 MAYO 1993			

La mora en su devolución ocasiona sanciones.

1830

662.88

P964b El biogás y sus aplicaciones /
Ej.2 PESENCIA

FECHA DE DEVOLUCION	NOMBRE	Carné
29 MAR. 1985	Sobano ALPEVA	10211

1830

662.88

P964b El biogás y sus aplicaciones /
Ej.2 PESENCIA

GAS NATURAL PARA VEHICULOS

El mejor socio de su bolsillo por economía y seguridad. El GNC cuesta 50% menos que la gasolina y cuenta con la mayor eficiencia y confiabilidad gracias a su alta tecnología, probada y comprobada en todo el mundo.

Además por su combustión limpia, no produce humo y contribuye a limpiar el aire de nuestras ciudades. Convertir su vehículo al GNC es un proceso realmente fácil gracias a nuestros expertos técnicos y talleres especializados que le brindan el mejor servicio y mantenimiento a su equipo.

Hoy tenemos 15 estaciones GNC en toda la Costa y pronto serán muchas más.



GAS NATURAL PARA VEHICULOS

Oficinas Principales: Calle 66 No. 67-123
Teléfonos: 416802 - 329827 - 317988
Barranquilla - Colombia



PROMIGAS S.A.

GAS NATURAL LA ENERGIA DE HOY.

Limpio,
Seguro, Económico
y sin Racionamiento.



GASES DEL CARIBE S.A.

Gas Natural para su hogar

Barranquilla: Carrera 54 No. 59-144, teléfonos: 416400 - 315597
Santa Marta: Avenida del Libertador No.15-29
teléfonos: 235559 - 234767 - 232837

El biogas y sus aplicaciones /Fundación
Energía Alternativa

338.27 F981b Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA PEDIDO	PRESTADO A	FECHA DEVUELTO
-----------------	------------	-------------------

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA



01002222

BIBLIOTECA