



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD METALURGIA – ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

En Opción al título de Ingeniero Mecánico

Título: Construcción y Montaje de la planta de biogás en la granja de autoconsumo del ISMM.

Autor: Carlos E. Batista Gómez.

Tutores: Msc. Eduardo Terrero Matos
Msc. Yoalbys Retirado Mediacaja.

Moa – 2009

“Año del 50 aniversario del triunfo de la revolución”



PENSAMIENTOS

“... Frecuentemente digo que cuando usted puede medir lo que esta hablando y expresarlo en número, usted sabe algo de ello, pero cuando usted no pueda expresarlo en número su conocimiento es pobre y de una calidad poco satisfactoria; puede ser el principio del conocimiento, pero en sus pensamientos usted apenas ha avanzado al estado de ciencia, cualquiera que sea el asunto de que se traté...”

William Thompson

“Creo en el milagro de lo que puede hacer el trabajo, de lo que puede hacer la ciencia y de lo que pueden hacer los hombres”.

Fidel Castro Ruz



AGRADECIMIENTO

En un momento como este es de extremo complejo por la estimable ayuda que he recibido de tantos compañeros para ser posible este trabajo que considero puede ser útil a todo aquel que este interesado en el tema y no quisiera que se me quedara nadie a quien agradecer.

Agradezco a todos los que me formaron durante estos 6 años, a todos mis compañeros de aula que estuvimos compartiendo durante todo este tiempo.

Un agradecimiento especial para mi tutor Ms.c Eduardo Terrero Matos, quien me apoyo, quien dedico su tiempo, ayudándome en las gestiones, quien me dio los consejos necesario para lograr los resultados alcanzado, agradecer también a ese gran amigo y hermano quien supo apoyarme en todo lo necesario Osquel Sánchez Abreu.

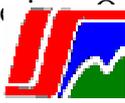
Deseo agradecer a mis hijos Carlos D. Batista y Lilian K. Batista y familia quienes supieron esperar, ayudarme y apoyarme en todo momento, a mi hermana Yanelis Batista a todos.

Quisiera agradecer de forma especial a mis queridos padres, mi madre Belkis de la C. Gómez y mi padre Carlos T. Batista García, a ellos les agradezco por brindarme todo su cariño, dedicación y paciencia.

A todos los que me quieren, y si se me queda alguien sin mencionar les ruego me perdonen, le agradezco de todo corazón.

A todos muchas gracias

Carlos E. Batista Gómez



DEDICATORIA

Al sentarme para redactar esta dedicatoria pensé en las personas más allegadas a uno, en aquellas que estuvieron siempre al tanto aconsejándome, apoyándome, dando aliento. Por todo esto yo les dedico este trabajo a:

A la revolución cubana y en especial al comandante en jefe, Fidel Castro Ruz por haberme dado la oportunidad de superarme, por todos los años dedicado a esta labor tan hermosa como es la construcción del socialismo en Cuba.

A mis hijos y familiares por su inestimable apoyo, ayuda, paciencia y comprensión.

A mis padres por su entrega incondicional en todos estos años para que esto sea posible.

A todas aquellas personas que me ayudaron, me extendieron la mano y dedicaron parte de su tiempo.

A todos les dedico este trabajo con respeto y cariño

Carlos E, Batista Gómez



RESUMEN

En este trabajo se elaboro un estudio sobre la obtención del biogás como fuente combustible, para ser utilizados en la granja de autoconsumo del ISMM. Se hace referencia o los detalles sobre esta tecnología, composición de la mezcla, factores a tener en cuenta para su buen funcionamiento, etc.

Se estudian otros trabajos publicados sobre la materia, se muestran valores promedio de producción de biogás, se muestra el procedimiento del cálculo para la planta construida.

Los resultados alcanzados señalan que para el bidigestor construido se necesita 11,99 kg de excreta diaria para producir 0,6 m³ de biogás.

El trabajo recoge un análisis económico valorativo a partir de los costos en que se incurren para la construcción del biogás.

Así como se valora el impacto ambiental con sus logros que contribuyen en su totalidad a la preservación del entorno.



SUMMARY

On this research paper was elaborated a complementary study based on the Biogas output and as a power source to be used at the ISMM self-food production within high levels of nutritional values. It is taken as reference the technological and engineering details of its blend composition, just to run out the process within the highest performance rate. Etc.

Some other researched works which has being published before, are still rounding such a matter, there are shown up average Biogas output values, the procedures to apply in the plant estimation and calculation.

The result has aroused that for the Biogas-driving source it is required 11,99 kg of excrement per day to produce 0,6 m³ of Biogas source.

The research collects an economical analysis evaluating production costs to meet for producing the Biogas element, as further as the environmental impact evaluation and the advantages of its performance, which contributes to preserve the natural environment.



ÍNDICE

Contenido	Págs.
Introducción	1
CAPITULO I Fundamentos teóricos de la investigación	4
1.1.- Introducción	4
1.2.- Estado del arte	4
1.3.- Análisis bibliográfico	8
1.4.- Fundamento de la tecnología del biogás	9
1.5.- Aplicación del biogás e influencia de su diseño	14
1.6.- Descripción de la metodología	15
1.7.- Conclusiones del capítulo I	18
CAPITULO II Desarrollo del biogás de la granja de auto consumo del ISMM	19
2.1.- Introducción	19
2.2.- Situación actual y factores a tener en cuenta en la selección del diseño	19
2.3.- Análisis de la metodología para el caso estudiado	20
2.4.- Procedimiento del cálculo para el diseño del biodigestor	23
2.5.- Manual de instrucción para el biogás	26
2.6.- Conclusiones del capítulo II	32
CAPITULO III Análisis de los resultados. Valoración económica – social e impacto ambiental	33
3.1.- Introducción	33
3.2.- Análisis de los resultados	33
3.3.- Valoración económica de la planta de biogás	34
3.4.- Impacto social de la planta de biogás	35
3.5.- Impacto ambiental	35
3.6.- Análisis y propuesta para la integración del polígono	36
3.7.- Conclusiones del capítulo III	38
Conclusiones	39
Recomendaciones	40
Bibliografía	41
Anexos	43



INTRODUCCION

El deterioro del medio natural es, en buena parte, una consecuencia derivada de la acción desmesurada y descontrolada de los sistemas económicos-productivos vigentes. Es evidente que la relación existente entre degradación del medio ambiente y el modelo de desarrollo económico dominante, en muchos aspectos, se han manifestado claramente insostenible. En este sentido, los poderes públicos, al igual que la sociedad en su conjunto, han de garantizar una acción medioambiental integradora y globalizadora que tenga en cuenta todas las políticas y actividades publicas. A partir de aquí, se podrá avanzar en la estrategia para alcanzar, conjuntamente con el equilibrio económico-social, la sustentabilidad de este mundo de todos.

La demanda de energía en el ámbito mundial aumenta por día, las energías fósiles y vegetales (Petróleo; Carbón; etc.) con las cuales hasta ahora se intenta cubrir esta demanda se agotan y no se renovan. El abastecimiento del futuro se plantea problemático, un nuevo planteamiento energético urge.

El alto costo de las inversiones iniciales limita en muchos países en vías de desarrollo el empleo de las energías renovables; Cuba, dentro de estos países, tiene una privilegiada situación social debido a la alta conciencia energética de los cubanos, así como su educación medio ambiental inculcada desde las edades mas tempranas, ejemplo La Ciudad Libertad en Bartolomé Masó, Granma donde más de 5000 estudiantes están vinculados en su programa de estudio al conocimiento y empleo consiente de la fuente renovable de energía y el respeto ambiental a través del centro de estudios solar que se construyo allí para tales fines, la implementación de la fotovoltaica y paneles solares en más de 2300 escuelas, 1800 salas de video y 400 consultorios.

Por otra parte, las campañas en defensa de la ecología y el medio ambiente, han encontrado en el biogás un fuerte aliado. De igual forma la producción de biogás, a partir del estiércol de animales como fuente renovable de energía, ha permitido el uso racional de los productos finales de ese proceso con su correspondiente impacto social y económico. Todo ello, unido al avance que han experimentado los diseños basado en procedimientos prácticos empleado en la construcción de plantas de biogás simples (Modelos GBV), le atribuyen, en la actualidad, un interés espacial a la aplicación de la tecnología del biogás bajo un nuevo enfoque energético vinculado al desarrollo sostenible en cuanto a su uso y explotación, lo cual responde al nombre de sistema de tratamiento a ciclo cerrado.



Los modelos GBV (Grupo de biogás Villa Clara) son diseños concebido dentro de la evolución que han experimentado los digestores de cúpula fija con la finalidad de disminuir los plazos de ejecución y lograr su acceso a un sector mayor de la población con una estructura adecuada. En consecuencia su diseño no se ciñe a un solo tipo de material sino que aborda una diversa gama de posibilidades y situaciones que enfrentan los usuarios que saben amar y comprender la esencia del "BIOGAS".

Los sistemas de tratamiento a ciclo cerrado son diseños de esquema de desarrollo que integran la búsqueda de solución a los problemas ambientales, de alimentación, producción de energía y abono, a partir de aguas residuales de origen orgánicos, teniendo en cuenta el ecosistema circundante.

Fundamento de la investigación

El ISMM tiene como función social la formación de profesionales integrales y competentes que respondan a los principios éticos y morales de la sociedad cubana. Para lograr este propósito se requiere de la logística, investigativa y alimentaría, por lo que no esta ajena al programa de desarrollo alimentario, para esto cuenta con una granja de autoconsumo, con una plantilla de 11 trabajadores, para la cocción de alimento se usa un fogón de leña, sin duda resulta insuficiente la disponibilidad de este recurso de energía; teniendo la posibilidad potencial dentro de la granja de la excreta animal, el cual se puede aprovechar con el fin de producir Metano y a su vez fertilizante. La aplicación de esta tecnología permite obtener:

- Un gas combustible de calidad reconocida (Biogás)
- Lodos estabilizados, que pueden ser utilizados como bioabono.
- El mejoramiento de las condiciones de vida de los que laboran en la cocina, así como el mejoramiento de las condiciones sanitarias y ecológicas del entorno.

A partir de lo expuesto se declara como **problema** actual:

La no existencia de una planta de biogás en la granja del ISMM que permita aumentar la eficiencia, estabilidad y rapidez en la cocción de determinados alimentos a partir del aprovechamiento del potencial de biomasa existente en el lugar.



Como **objeto de estudio de la investigación** se plantea:

- La búsqueda de una alternativa para la construcción de una planta de biogás en la granja del ISMM.
- La adecuación de la metodología GBV a las condiciones específicas de la granja del ISMM.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Con la construcción de una planta de biogás en la granja del ISMM que garantice el aprovechamiento del potencial de biomasa existente, es posible suministrar energía y abono, sin dañar el medio ambiente, mejorando las condiciones de trabajo de los obreros en el área de la cocina, ayuda al presupuesto del centro y como fuente de energía moderna constituye un medio de enseñanza de las fuentes renovables de energía y respeto ambiental.

En correspondencia con la hipótesis planteada, se define como **objeto de trabajo**:

Implementar un sistema que permita en el orden práctico, construir una planta de biogás en la granja del ISMM basado en la metodología GBV.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantea las siguientes **tareas del trabajo**:

- 1.- Realizar el análisis bibliográfico de las principales publicaciones referentes a la temática.
- 2.- Establecer los fundamentos teóricos-prácticos de la referida metodología adecuándolos al caso estudiado.
- 3.-Caracterizar la situación actual y las condiciones para la ejecución del biogás.
- 4.-Calcular las dimensiones fundamentales, que permitan la selección y diseño del biogás.
- 5.- Valorar los resultados y los impactos económicos, sociales y ambientales del biogás.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.- Introducción

El biogás es una abundante y barata fuente de energía de fácil obtención a partir de desechos animales, vegetales e industriales. Esta energía puede ser utilizada en numerosos procesos que tienen incidencia en la economía, no solo por la generación de energía sino también por la producción de biofertilizantes de alta calidad. La construcción de las plantas de biogás debe estar sustentada en una profunda caracterización de los aspectos fundamentales que inciden en la correcta selección, diseño y explotación de estas tecnologías, es por ello que el **objetivo** del presente capítulo es:

Establecer los fundamentos teóricos relacionados con las tecnologías de los biodigestores.

1.2.- Estado del arte del Biogás

Durante la primera guerra mundial (1914-1918) surgió en Inglaterra el interés de producir metano en las haciendas y fincas, a partir de estiércol animal. Pero sólo en 1940 científicos franceses desarrollaron y perfeccionaron un proceso de obtención rural de gas, a partir del estiércol.

Existen divergencias entre las fuentes bibliográficas consultadas respecto a los antecedentes históricos del biogás, pero todos coinciden en apuntar que el biogás es el gas biológico combustible obtenido mediante la digestión anaerobia de los compuestos ó materia de origen orgánica, donde el principal componente es el metano (CH_4). El mismo fue identificado por primera vez en 1667 como gas de los pantanos por Shiley.

Durante la segunda guerra mundial, científicos alemanes e italianos desarrollaron vehículos accionados con biogás. Después de la guerra el interés por el biogás cómo combustible solamente fue continuado en pocos países, (China y la India).

En la década de los años 70 se popularizó la construcción de plantas de biogás en la mayoría de las zonas rurales de la India y China, esta última con más de 8 millones de instalaciones de biogás reportadas, que benefician a más de 50 millones de personas.



En los últimos años, al gradual interés que se le venía dando al biogás como portador energético, que se suma al de las campañas en defensa de la ecología y el medio ambiente, que lo hacen aun más atractivo como elemento integrador bajo un nuevo enfoque energético vinculado al desarrollo sostenible y adecuado a las disímiles condiciones y posibilidades que enfrenta el hombre del campo.

La tecnología del biogás, con una buena orientación y conocimiento de aquellas actividades que se puedan vincular a su ciclo de manera sostenible, puede ser adaptado a las exigencias ecológicas y económicas del futuro y por ello esta considerada como una tecnología de avanzada.

Desarrollo de la tecnología del biogás en Cuba

Cuba es uno de los primeros países de América Latina donde se introdujo la tecnología del biogás en las plantas de tratamiento de aguas negras. Por lo que ha sido aplicada e investigada desde la primera mitad del siglo XX, en la década del 70 y específicamente a partir de 1973 con la crisis energética por los altos precios del petróleo, se volvió gradualmente al biogás como fuente alternativa de energía para el mundo contemporáneo y fue precisamente en estos tiempos que en Cuba se realizan algunas obras destinadas al tratamiento de residuales proveniente de las industrias para la producción y obtención del biogás como portador energético. A finales de la referida década y la primera mitad del 80, se construyeron en Cuba más de 400 plantas de biogás de pequeña escala del tipo Hindú (Campana flotante), con vista a producir biogás para el alumbrado de las vaquerías. Sin embargo, por falta de una estrategia adecuada y problemas técnicos, entre otras causas, estas instalaciones no tuvieron los resultados esperados y después de un tiempo relativamente corto, fueron abandonadas.

Más tarde, a principio de los años 90 se retoma el tema del biogás pero involucrando un número mayor de territorios del país a partir de un programa de difusión consistente en la calificación de técnicos y usuarios, así como en la construcción de 16 plantas de biogás del tipo cúpula fija, pero que contemplaban la evolución que habían tenido estas instalaciones. Este programa, amparado por un proyecto de colaboración que incluía la transferencia de conocimiento y tecnología, permitió desarrollar nuevas capacidades para la construcción de este tipo. En la actualidad, Cuba exhibe un desarrollo en el conocimiento, uso, diseño y construcción de estas obras que permite encaminar los resultados obtenidos hacia la cooperación solidaria y la integración en pos de una infraestructura encaminada a mantener los resultados alcanzados, capacitar a profesionales de todo el país, abaratar el costo de estas instalaciones, desarrollar nuevos y adecuados diseños, establecer una política adecuada para la generalización de la tecnología del biogás en Cuba de manera sostenible y contribuir a la construcción de mas de 500 plantas en esta segunda mitad de la actual década (2006-2010).



Generalización de la tecnología del biogás en Cuba

Con la creación de la comisión Nacional de energía en Cuba (1983) y sus filiales en las diferentes provincias se plantearon un grupo de medidas encaminadas al ahorro de energía y la sustitución de los portadores de energéticos convencionales, razón por la cual el biogás como portador energético no convencional (renovable), comenzó a replantearse de manera generalizada para un grupo importante de empresas e instalaciones diseminadas por todo el país. El uso del biogás en sus comedores obreros fue algo que se puso de moda sin tener en cuenta, todos los factores que en ella inciden y que de manera ilustrativa se muestra en la figura 1.1.

Precisamente los aspectos que en ella se expone, además de los mostrados en el anexo 2 (base de la metodología GBV), constituyeron herramientas de partida para la generalización en todo el país, facilitándose con ello, los primeros pasos de la mencionada infraestructura y desarrollo de las fuentes renovables de energía (Cubasolar). La sociedad de ingeniería hidráulica de la Unión Nacional de Arquitectos Ingenieros de la Construcción de Cuba (UNAICC), así como a través de los talleres, forum y eventos promovidos al efecto y encaminados a resolver problemas como los que dieron origen a este trabajo.



ORGANISMOS E INSTITUCIONES QUE RESPONSABILIZAN CON LA DIFUSION

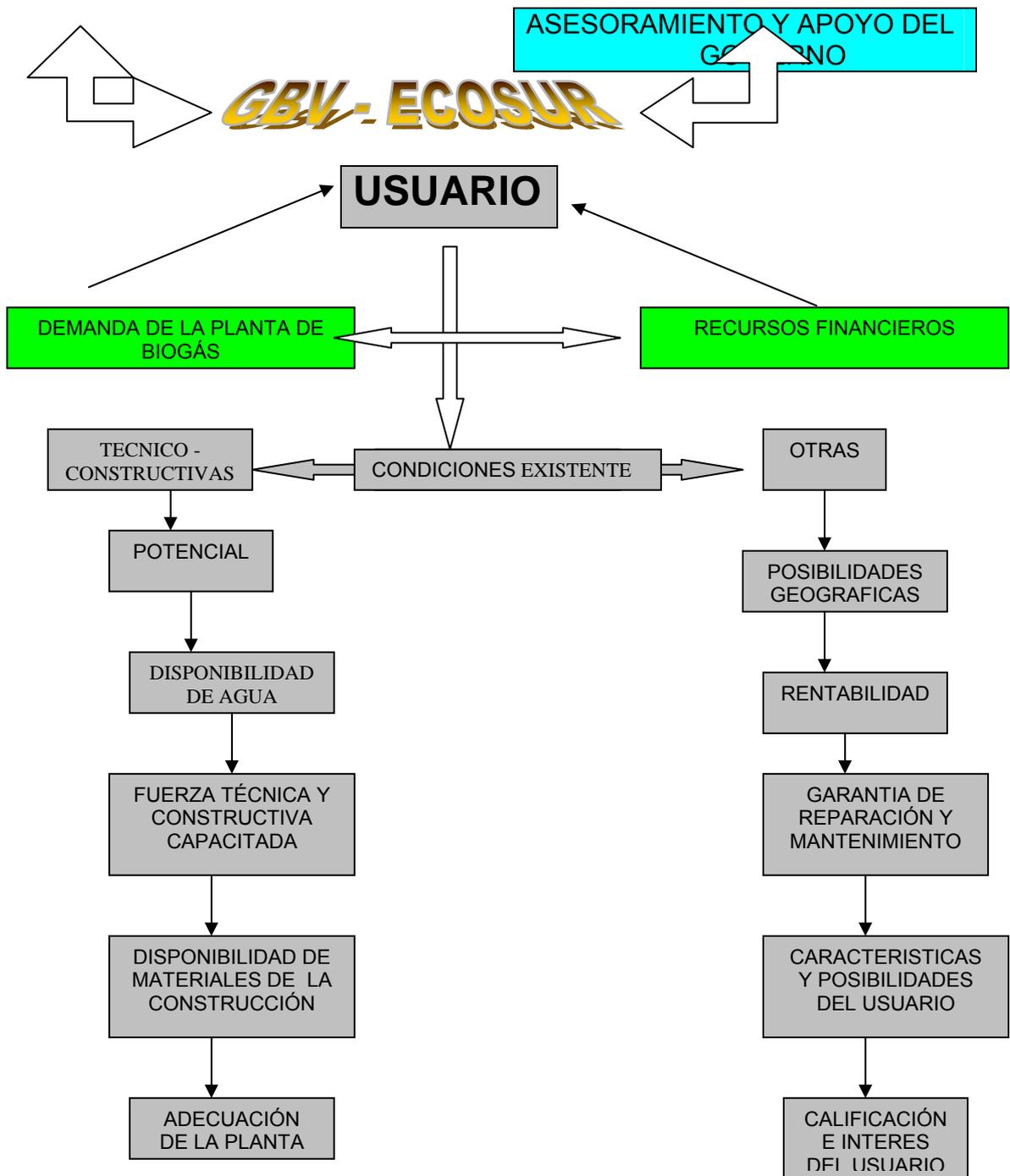


Figura 1.1 Diagrama ilustrativo del programa de difusión del GBV para el empleo de la tecnología del biogás a pequeña y mediana escala en Cuba.



1.3.- Análisis bibliográfico

Cuba al igual que otros países en vías de desarrollo, ante los graves problemas sociales, económicos y políticos ha adoptado importantes iniciativas que contribuyen al desarrollo económico integral, a la preservación del medio ambiente y al logro del bienestar social, entre otras cuestiones importantes que se plantean en la actual coyuntura histórica (Guardado, 1995).

Ante la crisis energética mundial, la agricultura además de constituir la más importante fuente de alimento y materias primas para el país, es un componente estratégico del desarrollo de las fuentes renovables de energía (Turín, 1999).

En numerosos trabajos, se ha puesto de manifiesto la importancia del uso de los residuos en la cadena alimenticia de los propios animales que la originaron. Se trata de los sistemas de tratamiento a ciclo cerrado integrados a la agricultura sustentable (Guardado, 1995).

Resumiendo lo anterior, se puede afirmar que los sistemas de tratamiento a ciclo cerrado son diseños de esquemas de desarrollo que integran la búsqueda de solución a problemas ambientales, de alimentación, producción de abono y energía, a partir de aguas residuales o residuos de origen orgánico, teniendo en cuenta el ecosistema circundante.

Según cálculos realizados, las reservas mundiales de petróleo ascienden a 2200 billones de toneladas equivalentes de petróleo (BTEP), que según el consumo mundial de alrededor de 7 BTEP al año, se agotara en algo más de 300 años. Precisamente en la actualidad se investiga el empleo de las fuentes renovables de energía (Vander Meer, 1982; Guardado, 2000).

De acuerdo con Turín (1997), el desarrollo de las fuentes renovables en Cuba se lleva en varias direcciones simultáneas.

- Educación y formación de una cultura de conciencia energética y respeto ambiental.
- Investigación y desarrollo científico-técnico.
- Fomento de la industria nacional
- Aumento del uso de las fuentes renovables de energía.
- Planificación energética.



Las fuentes renovables de energía son: la nuclear, la eólica, biomasa, hidráulica y la energía solar fundamentalmente.

Entiéndase por biomasa el material orgánico de derivación vegetal (madera, residuos agrícolas, residuos de los bosques, etc.) o animal (residuos animales) que pueden ser utilizados para producir energía.

En el V Congreso del Partido Comunista de Cuba se discutió ampliamente el problema energético cubano y se llegó a la conclusión de que lo más importante es lograr una alta eficiencia en los procesos, un máximo de ahorro, así como desarrollar cada vez más el uso de las energías renovables.

La energía de la biomasa esta considerada como una de las fuentes de energía renovable del futuro para la producción de biocombustibles que sustituyan a los fósiles y para la producción de energía eléctrica y calor.

Es factible utilizar la biomasa en forma cíclica con fines energéticos, de forma semejante a lo que ocurre en el ciclo fundamental de la vida, que incluye la fotosíntesis. En los países tropicales la energía de la biomasa puede desempeñar un papel fundamental (Turín, 1999).

Las fuentes bibliográficas consultadas demuestran la existencia de numerosas investigaciones encaminadas a la aplicación consecuente de la tecnología de biogás debido a las potencialidades que esta ofrece. En general es una temática bien fundamentada en la literatura científica que encuentra su aplicación práctica en Cuba.

1.4.- Fundamento de la tecnología del biogás

La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de fangos. El mismo produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular.

Sus principales aplicaciones han sido, la estabilización de fangos producidos en el tratamiento del agua residual de determinados residuos industriales, sin embargo, se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos también se pueden tratar anaeróbicamente. Esta digestión es considerada un proceso biológico de complejas reacciones y procesos bioquímicos asociados a la actividad bacteriana de determinadas especies, por ende tiene una fuerte dependencia de la composición del sustrato.

El proceso de digestión anaerobia y por ende la producción de biogás se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado y en ausencia de oxígeno molecular denominado digestor o biodigestor.



Degradación anaerobia de la materia orgánica

La digestión anaerobia se engloba dentro de las energías alternativas y dentro de estas, en la energía dulce o energía que no desarrolla ningún peligro potencial para el hombre, la naturaleza y la vida. El objetivo final de la digestión anaerobia está constituido por la formación de biogás, en el cual el componente fundamental es el metano. De una forma muy simple, la energía almacenada en el gas metano proviene de la energía solar, que una vez captada por las plantas y transformada por los animales, es digerida microbiológicamente para ser transformada en biogás como subproducto de la actividad citada.

La conversión de los residuos orgánicos se lleva a cabo mediante la acción conjunta de diferentes organismos anaerobios que ha servido como patrón para establecer las diferentes etapas que componen al proceso. En la actualidad, se considera que la digestión anaerobia procede en varias etapas sucesivas.

Hidrólisis o licuefacción: los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular. La hidrólisis es por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros.

Acidogénesis: los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos simples como es el ácido acético, propiónico y butírico fundamentalmente.

Acetogénesis: se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

Metanogénesis: en esta etapa metabólica el metano es producido a partir del ácido acético o de mezcla de H_2 y CO_2 , pudiendo formarse además a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol.

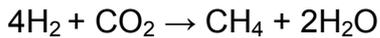
Todos estos procesos ocurren de manera simultánea en el digestor.

Las bacterias más importantes de este grupo, son las que degradan el ácido acético y el ácido propiónico, estas tienen tasas de crecimiento muy lentas, razón por la cual se considera que su metabolismo es un factor limitante del tratamiento anaerobio de los residuos orgánicos. En la digestión anaerobia, la estabilización se alcanza cuando se produce metano y dióxido de carbono.

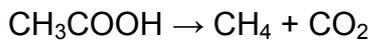


En un digestor anaerobio, hay dos vías principales de producción de metano.

1. La conversión de hidrógeno y dióxido de carbono en metano y agua.



2. La conversión de acetato en metano y dióxido de carbono.



Según la temperatura interior del digestor las reacciones pueden ser:

- ❖ Fermentación psicrófila (10 -20) °C (mas de 100 días de retención).
- ❖ Fermentación mesofílica (20 – 35) °C (mas de 20 días de retención).
- ❖ Fermentación termofílica (50 – 60) °C (mas de 8 días de retención).

La fermentación termofílica no es apropiada para plantas sencillas.

Otro de los factores a tener en cuenta durante el proceso de fermentación anaerobia es el PH. Este indica si el proceso transcurre sin problemas y su valor debe encontrarse alrededor de 7 lo que indica que no debe ser ni alcalino ni ácido.

Las condiciones óptimas para la digestión anaerobia, así como sus rangos han sido estudiados por numerosos investigadores (Vander Meer, 1982; Rodríguez, 1998) los cuales no siempre coinciden en sus conclusiones, algunas de las posibles razones de dichas discrepancias radica en las diferencias del material que alimenta los digestores, empleos de metodologías diferentes además de que es muy difícil establecer comparaciones de igual base ante el empleo de sustratos de naturaleza distinta, y los parámetros empleados para estos análisis no siempre coinciden plenamente.

Temperatura de la digestión

La digestión anaerobia y la producción de gas puede ocurrir en un amplio rango de temperatura que normalmente va de 4 a 60 °C, siempre y cuando la temperatura se mantenga constante, investigaciones realizadas demostraron que esta puede existir incluso a temperaturas mínimas de 0 °C.



Existen rangos de temperaturas bien específicas en los cuales se observan los mejores resultados en la producción de biogás, estos son:

- Psicofílicos (15 – 28 °C)
- Mesofílico (30 – 40 °C)
- Termofílico (45 – 60 °C)

Debe observarse que los rangos no necesariamente expresan continuidad o solapamiento en los valores de temperaturas debido a que corresponden sólo a las zonas más apropiadas.

En el rango Psicofílico el proceso es muy lento y la producción pobre en comparación con los restantes rangos. Su aplicación pudiera considerarse como una solución aceptable para los países de clima frío, aunque en muchos casos el balance económico arroja que el proceso resulta costoso.

Por otro lado, aunque el rango Mesofílico hay un incremento para la generación de biogás desde 30 hasta 40 °C considerándose 35 °C la temperatura óptima de este.

La caída de temperatura trae aparejado, entre otros la disminución del PH, el incremento de la concentración de los ácidos grasos volátiles, la disminución del volumen del gas generando la elevación del contenido en el mismo, esto último debido a la mayor solubilidad del dióxido de carbono en la masa líquida al ser mayor la temperatura.

Debido a que el Tiempo de Retención del Sólido (TRS) es una medida de la concentración de microorganismo por la cantidad de sustrato, entonces un aumento en el TRS puede servir de compensación a una disminución en la temperatura de operación y teóricamente mayor TRS deben permitir fluctuaciones de temperaturas sin inhibiciones del proceso, lo cual se debe a que cuando la velocidad de crecimiento de los microorganismos se encuentren por debajo del máximo, esto puede fácilmente ajustar su actividad metabólica cuando son cambiadas las condiciones ambientales.

EI PH

Las bacterias metanogénicas tienen requisitos más estrictos en relación con el PH que las acidogénicas. El PH óptimo se encuentra entre 6,8 y 8,0. Aunque no existe una coincidencia total entre los autores acerca del rango del PH en que debe desarrollarse la digestión anaerobia, pues algunos recomiendan mantenerlo entre 6,8 y 7,6.



Sin embargo, la mayoría coinciden en afirmar que por debajo de 6,2 se inhibe la metanogénesis, y el proceso se interrumpe.

Las bacterias acidogénicas tienen una mejor tolerancia a los bajos valores del PH y la producción de ácidos puede continuar sin apenas perturbación mientras que se inhibe la etapa consumidora del ácido. El resultado final es que si no se controla el PH, entonces se inhibe completamente la metanogénesis y el proceso se detiene.

En la práctica es necesario vigilar frecuentemente el valor del PH en el digestor y en el efluente.

Las variaciones de PH deben ocurrir fundamentalmente por dos razones:

- El residual es pobre en nitrógeno.
- El residual es fuerte en ácido o alcalino.

Una mezcla baja en nitrógeno no puede asimilar la formación de bicarbonato de amonio, el cual es la fuente principal de buffer en el proceso anaerobio.

Nutrientes

El carbono, además de ser un constituyente básico es la fuente de energía y el nitrógeno proporciona la formación ideal de estos elementos. En la materia prima a digerir es de 30/1 o sea 30 parte de carbono por una de nitrógeno. Esta relación puede llegar hasta 20/1 y considerarse aceptable. Si no existe suficiente nitrógeno, para permitir que la bacteria se multiplique, la velocidad de producción del gas se vera limitada, ahora bien, si el nitrógeno se presenta en exceso resulta tóxico para la digestión anaerobia. La razón de esta diferencia estriba en la velocidad de consumo de carbono de estos elementos por parte de las bacterias.

Tiempo de retención

El tiempo de retención se acostumbra a diferenciar entre el tiempo de retención hidráulica (TRH) y el tiempo de retención de sólido (TRS). Existen casos particulares, reactores de mezcla completa sin recirculación en los cuales no existen diferencias entre ellos. Por definición, TRS es el tiempo promedio que los microorganismos dentro del reactor durante el tratamiento (desde la entrada hasta la salida) a su vez, el (TRH) es el tiempo que el sustrato permanece dentro del reactor.



La importancia del TRS radica en que existe un TRS mínimo que es necesario garantizar para que los microorganismos tengan la oportunidad de reproducirse en cantidad superior, o al menos a la concentración de estos a la entrada del sistema, de lo contrario ocurrirá el efecto de lavado de la mezcla, ya que los mismos serán eliminados con mayor rapidez que los que entran, bajando su concentración a valores mínimos que conduce a que se detenga el proceso de fermentación anaerobia.

1.5.- Aplicación del biogás e influencia de su diseño

En la energía

El biogás contiene el metano como componente principal con un porcentaje entre el 50 y el 70 %, este gas da fuego de color azul claro, no tiene humo, el poder calorífico es de 4700 kCal/m³ a 6500 kCal/m³.

El biogás es un tipo de combustible limpio adecuado para el aprovechamiento en la cocina, iluminación. También se utiliza este gas en cambio de gasolina o diesel en motores internos como generación de electricidad, tractores, en las zonas de escaso combustible. Es usable para máquinas de calefacción (secar el té, dar calefacción para las crías de pollos) como máquinas de refrigeración para la conserva de frutas, semillas, etc.

En término de fertilizante

El residuo de biogás es rico de nutrición, sobre todo en forma de amonio NH₄⁺, vitamina para la rehabilitación del suelo contra la esterilización, aumenta el contenido de humus.

En el proceso de fermentación anaerobia los gérmenes de hierba, parásitos patógenos son eliminados, por eso, el residuo de biogás es el fertilizante limpio, que limita los parásitos y enfermedades en las plantas.

Los lodos y líquidos, empleados como biofertilizante resultan mejores que los fertilizantes orgánicos que se obtiene con el compost, cuya descomposición es aeróbica, es decir en presencia de oxígeno, debido a que:

1.- El contenido de nitrógeno asimilable es mayor en la materia orgánica descompuesta anaeróbicamente que en la aeróbica. Las pérdidas de nitrógeno se comporta al 50 % para la descomposición aeróbica y al 10 % para la anaeróbica.

2.- La pérdida de fosfato en el compost es 15 veces mayor que en biofertilizante de biogás. Los experimentos han demostrado que el contenido de fósforo asimilable está entre el 10 y el 20 % en el fertilizante de biogás, mientras que el contenido de fósforo orgánico e inorgánico es de 1 a 3 veces mayor que en el compost.



3.- Producto de la fermentación anaeróbica, se puede recuperar más del 90 % del potasio presente en la materia orgánica, ya que los iones no pueden ser lavados por la lluvia como es el caso del compost. Los residuos sólidos digerido contienen 0,6 – 1,2 % de potasio, mientras que los líquidos 0,05 – 1,0 %.

4.- Las pérdidas de carbono orgánico son menores en la fermentación anaeróbica que en la fermentación del compost, lo cual se demuestra en la siguiente tabla 1:1.

Tabla 1.1 Comparación entre los componentes de la digestión y el compost

Tratamiento	Acido Humito (%)	Semicelulosa (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)
Digestión	28,49	30,55	15,73	13,1
Compost	14,46	19,82	8,03	10,4

Como control de plagas y enfermedades en los cultivos, se ha demostrado que la aplicación de fertilizante de biogás puede controlar la aparición de áfidos de los vegetales, del trigo, y el algodón. A las 84 horas de aplicado el fertilizante, las poblaciones de insectos disminuyen en más del 55 %.

El líquido digerido cuando es mezclado con insecticida produce un efecto todavía mayor. Mezclado con un 10 % de insecticida, provoca una reducción de la población de insectos de más del 60 % a las 48 horas. Este líquido con un 20 % de pesticida en 84 horas, mantiene la disminución en las poblaciones de insectos en más del 70 %.

1.6.- Descripción de la metodología GBV

En correspondencia con lo expuesto los modelos GBV son diseñados y concebidos dentro de la evolución que han experimentado los digestores de cúpula fija, partiendo del modelo NICARAO.

Estas plantas de tecnología simples, se dividen en dos tipos fundamentales: de flujo continuo, siendo estas las mayormente empleadas para la obtención de volúmenes considerables de gas y las de flujo discontinuo para pequeñas producciones de biogás.

La gran ventaja de las primeras, es que las bacterias metanogénicas reciben un suministro regular del material orgánico, con lo cual producen de forma más estable el biogás.

Las plantas de tecnología simple y de flujo continuo, se dividen en dos tipos ampliamente desarrollados en la práctica:

- a) Planta de cúpula móvil, en la cual el gasómetro metálico flota sobre el material orgánico en fermentación.



- b) Planta de cúpula fija (caso estudiado), en la cual el gas se almacena en la parte superior por el principio de desplazamiento.

En particular el modelo NICARAO tiene las ventajas siguientes:

- Mejor aprovechamiento de la excavación y método de construcción sencillo y de gran rapidez (10 -15 días).
- Mejor acceso al digester, tanto durante la obra, como para futuras revisiones.

Sin lugar a dudas, la evolución del diseño en los digestores de cúpula fija (figura 1.2) ha tenido una influencia en la aceptación de estos por los usuarios, atribuyéndosele a los del tipo NICARAO por las ventajas expuestas, las mayores bondades.

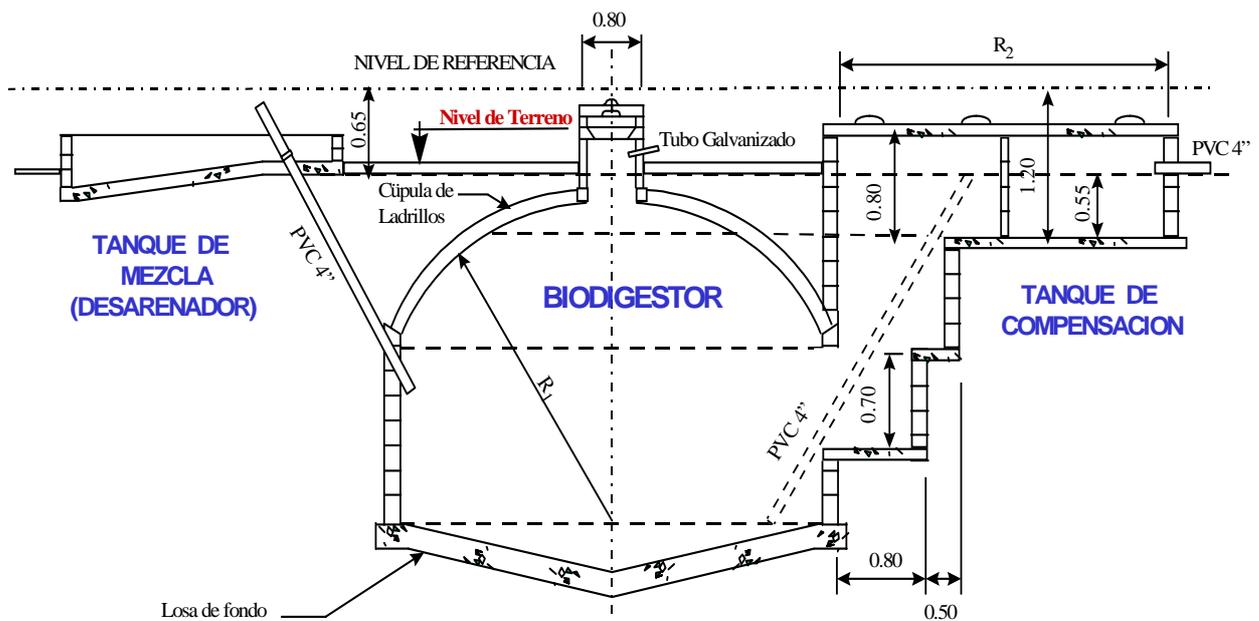


Figura 1.2 Planta de biogás de cúpula fija del tipo NICARAO

Fuente: Guardado, 2000

Es precisamente por ello e inspirados en los aspectos que se abordan en la parte introductoria, se concibe un diseño con las referidas bondades, del digester NICARAO, de manera que su generalización y uso estén vinculados a los principios de sustentabilidad:

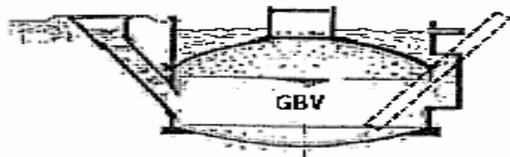
- Diseños económicamente rentables.
- Ecológicamente variables.
- Social y humanamente justos.



Las ventajas que ofrece el diseño o modelo GBV, desde el punto de vista técnico – constructivo y por ende económico, está ejemplificado en la tabla comparativa (1.2) para un biogás de 12 m³ de capacidad. Otra ventaja importante de este modelo, es que permite evadir el trabajo en presencia de agua, toda vez que la ubicación del tanque compensador este en cima de la cúpula asegura el peso suficiente para lograr las presiones de trabajo (500 – 800 mm col. agua) que garantice al traslado del gas a distancias superiores a los 600 m.

El empleo de los referidos modelos GBV (Figura 1.4) respondiendo a los criterios que dieron origen, son considerados diseños de nuevo tipo, por lo que su impacto social es aun más notable en los usuarios que lo poseen, y que promueven en su radio de acción la generalización de esta tecnología lo que se ve reflejado en los resultados que se valoran a continuación y que indican que efectivamente el diseño tiene una relación directa en la aceptación del usuario que constituye el principal protagonista en la generalización en el orden práctico, ya que multiplica su ejemplo y aporta sus experiencias con soluciones prácticas que se traducen finalmente en contribuciones científico – técnicas que permiten además la perfección de estas instalaciones una vez que son interpretadas y analizadas por los profesionales y especialistas.

Tabla 1.2 Valores comparativos de los parámetros entre los modelos NICARAO y GBV

Materiales	UM	NICARAO	GBV
Cemento	Bolsas	80	35
Arena	m ³	5	3
Piedra de Hormigón	m ³	6	2
Bloques	u	420	260
Ladrillos	u	500	700
Acero 3/8"	kg	150	27
Acero 1/4"	kg	21	5
Esquema de los modelos			
			
Figura 1.3		Figura 1.4	
Otros parámetros			
Área neta	m ²	23	13
Tiempo de ejecución	h	96	60
Mano de obra	h	5	5

Fuente: Guardado, 2000.



1.7.- Conclusiones del capítulo 1

- Los sistemas de tratamiento a ciclo cerrado son diseños mecánicos novedosos que integran la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales o residuos orgánicos.
- Se expone con profundidad los fundamentos de la digestión anaeróbica y su importancia en la descomposición de la materia orgánica y en la estabilización de los lodos; así como los factores físico – químico que la afectan.
- Se demuestra la importancia de los variados usos del biogás como portador energético, en sustitución de los combustibles convencionales en el mundo y en Cuba. Evidenciándose la doble función del mismo como fuente alternativa de energía y agente protector del medio ambiente al evitar la dispersión del Metano a la atmósfera.



CAPITULO II

DESARROLLO DEL BIOGÁS DE LA GRANJA DE AUTOCONSUMO DEL ISMM

2.1.- Introducción

Nuestro país y el estado esta conciente de que no solo es factible, sino imprescindible, acometer una política integral de desarrollo que garantice un máximo de aprovechamiento de los recursos energético de que se dispone. Esto implica un análisis puntual en cada lugar acerca de sus problemáticas y la posibilidad de emplear fuentes renovables de energía siempre y cuando sea factible como es el caso estudiado. La construcción de una planta de biogás en la granja cubriría una necesidad del centro de trabajo, la temática de las fuentes renovables de energía, implementación y desarrollo de las mismas. Por todo lo antes expuesto el **objetivo** del capitulo es:

Diseñar el biogás basado en la metodología GBV.

2.2.- Situación actual y factores a tener en cuenta en la selección del diseño

Situación actual

Con el objetivo de la cocción de los alimentos en la granja se utiliza la leña como combustible, con un consumo de 712.5 astillas al año todo esto por un valor de 4 027,5 MN, sin tener en cuenta el uso de la transportación (de tiro animal) lo cual trae consigo, producto a la distancia, el poco uso de los mismos para otras tareas.

Esta fuente de energía vegetal tiene otras dificultades como:

- Desprendimiento de grandes cantidades de humo, afectando la salud de los que allí laboran y la calidad de la comida.
- Dificultades para encender los fogones, debido a que la mayoría de las veces la leña esta verde y requiere el uso de petróleo para iniciar la combustión.
- Daños ecológicos considerables, ya que este número de astillas corresponde aproximadamente a 15 árboles de 7 metros de altura.
- La exposición de los cocineros a altas temperaturas, producto de la combustión de la leña.
- El mal olor que adquieren los trabajadores de la cocina característica de la combustión de la leña.

Todos los aspectos mencionados motivaron al análisis de la construcción de una planta de biogás en la granja que mejore las condiciones de trabajo de los obreros que laboran en el lugar de la cocina.

Factores a tener en cuenta para la ejecución del biogás

- Tipo y composición del material orgánico.
- Demanda del biogás y biofertilizante.
- Disponibilidad de agua y materia orgánica.
- Disponibilidad de recursos financieros.
- Disponibilidad de materiales de construcción y accesorios.
- Necesidad e interés del usuario.
- Características del lugar.
- Recursos humanos para atender la planta.
- Facilidad de explotación y mantenimiento.
- Empleo de materiales de construcción locales y económicos.

Estos factores se pueden resumir en:

- Factibilidad que justifique la inversión (necesidad y condiciones creadas).
- Características y situación económica del usuario.

2.3.- Análisis de la metodología para el caso estudiado

La metodología GBV consta de dos etapas.

En la primera se realiza el análisis y adecuación a las condiciones específicas del lugar (granja), para determinar la factibilidad de su ejecución.

El elemento primario lo constituye el usuario (granja de autoconsumo del ISMM) y el respaldo que este requiere de la dirección del centro, así como de todos los involucrados y el financiamiento destinado para la solución del problema.

Con este último antecedente, no es factible enfrentar la ejecución de la obra y es cuando se pone en vigor la referida metodología.

Uno de los objetivos de esta metodología, es caracterizar y conocer las posibilidades del usuario para lograr diseños económicamente rentables, así como la rápida puesta en marcha de la misma. Para esto se hizo el reconocimiento del lugar y de las condiciones existentes arrojando los resultados siguientes:

- **Potencial constructivo:** Este analiza las características específicas de la granja y el municipio en cuanto a la existencia de fábricas destinadas a la producción de materiales de la construcción (ladrillos, bloques, cemento, etc.). **-desfavorable-**.
- **Disponibilidad de agua:** Las plantas de biogás necesitan de agua para diluir la materia orgánica y mantener la higiene de ellas. El agua constituye de un 50 a 70 % de la materia prima; no es un problema. **-favorable-**.
- **Fuerza técnica y constructiva capacitada:** En la granja no se cuenta con personal capacitado para la ejecución de esta obra (si dicha planta se hiciera con materiales convencionales de construcción) solamente cuenta con un soldador, aunque en el instituto se cuenta con un taller con numerosas maquinas herramientas (torno, fresadora, etc.) y el equipo necesario para la soldadura por arco eléctrico y oxiacetilénica. **-desfavorable** (para la construcción civil) y **favorable** (para la construcción metálica)-.
- **Adecuación de la planta:** Este es uno de los parámetros mas importantes, ya que cada planta tiene sus peculiaridades según las posibilidades que brinde el lugar de emplazamiento, en este caso se utilizaran los materiales disponibles aunque estos no sean los que tradicionalmente se emplean para estas construcciones. Precisamente esta es una de las principales ventajas de esta tecnología. **-dudoso-**.
- **Disponibilidad de materiales de la construcción y utensilios:** Esto esta limitado para materiales convencionales, pero se cuenta con la disponibilidad de materiales metálicos, esto se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Materiales para la construcción del biogás

Materiales	Cantidad	Espesor	Diámetro	Largo	UM
Tanque	2	6 mm	0,75 m	1,90 m	m
Tanque	1	6 mm	0,75 m	3 m	m
Tubos	2	5 mm	0,21 m	2,90 m	m
Tubos	1	3 mm	½ "	2 m	m

Esto hace que las condiciones en este aspecto sean. **-dudoso-**



A pesar de que las condiciones técnico-constructivas descritas son importantes a la hora de concebir el diseño, también existen otras no menos importantes:

- Condiciones geográficas: Las condiciones geográficas del lugar son muy apropiadas ya que permiten su ubicación en un lugar cercano a las áreas de vínculo, de fácil acceso y lo que es más importante, permite la utilización y transportación de los productos de la planta por gravedad (la extracción de los lodos digeridos, así como el vaciado rápido de la planta en caso de limpieza y mantenimiento, es la mayor ventaja que ofrece la topografía del lugar).-**favorable**-.
- Rentabilidad: Con los múltiples beneficios que ofrece la instalación y por la experiencia que se tiene al respecto, está garantizado este aspecto que solo tiene como negativa los gastos que se incurren en la construcción, puesta en marcha, en la atención mínima de su explotación, ya que para el mantenimiento de la planta basta con la materia orgánica que se genera en el centro.-**favorable**-.
- Posibilidades de reparación y mantenimiento: Existen las condiciones y los medios para acometer una reparación si sus componentes fueran generalmente metálico.-**desfavorable** (para construcción civil) y **favorable** (para construcción metálica).
- Característica e interés del usuario: Es el más importante ya que sustenta el funcionamiento de la planta y en el orden práctico este aspecto es convincente.-**favorable**-.

A pesar de lo anterior es bueno especificar, sin embargo, que están bien claro entre otros los siguientes intereses:

1. Energético, mediante el aprovechamiento del gas (metano) para la cocción de alimentos, limitando la leña como combustible y ahorrando tiempo para otras labores además de brindar mayores condiciones humanas e higiénicas – sanitarias.
2. Como fertilizante, debido a las cualidades nutritivas, rehabilitadoras de suelos y generadoras de humos. El bioabono de biogás es un excelente y adecuado abono para el autoconsumo.
3. Académico, el hecho de que el centro cuente con una planta de biogás, crea las bases para el desarrollo de esta fuente renovable de energía, posibilitando la integración a ella de especialidades como mecánica, así como incorporar otras fuentes renovables de energía, convirtiéndose finalmente esta área, en un polígono de estudio e investigación.



Para la construcción exitosa de la planta de biogás, esta en la posibilidad de adecuar la misma con los materiales y recursos de recortería metálicos. De esta forma, se resume la concepción del diseño de la planta de biogás y se elaboran las instrucciones para la explotación y mantenimiento de la misma; pasando a la segunda etapa (procedimiento de cálculo para el diseño del biodigestor).

2.4.- Procedimiento de cálculo para el diseño del biodigestor

1.- Volumen del biodigestor (**Vd**)

$$Vd = \pi * \frac{(D)^2}{4} * L \quad (m^3) \quad 2.4.1$$

Dimensiones del digestor

Diámetro D = 0,75 m

Largo L = 1,90 m

2.- Volumen del tanque de compensación (**Vc**)

$$Vc = \pi * \frac{(D)^2}{4} * L \quad (m^3) \quad 2.4.2$$

Dimensiones del tanque de compensación

Diámetro D = 0,75 m

Largo L = 3 m

3.- Volumen del tanque de mezcla (**Vm**)

$$Vm = \pi * \frac{(D)^2}{4} * L \quad (m^3) \quad 2.4.3$$

Dimensión del tanque de mezcla

Diámetro D = 0,59 m

Largo L = 0,50 m

4.- Volumen total de la planta (**Vt**)

$$Vt = Vd + Vc + Vm \quad (m^3) \quad 2.4.4$$

5.- Volumen de biogás necesario (**Vbn**)

$$Vbn = Vbnc * nf * ht \quad (m^3) \quad 2.4.5$$

Donde:

Vbnc: volumen de biogás necesario para un fogón de cocción de alimentos, (0,3 m³/h).

nf: números de fogones o estufas.

ht: número de horas de trabajo.

**6.- Volumen de biogás adicional (Vba)**

$$Vba = 0,15 * Vbn \quad (m^3) \quad 2.4.6$$

7.- Volumen de biogás asumido por el diseño (Vad)

$$Vad = Vbn + Vba \quad (m^3) \quad 2.4.7$$

8.- Volumen necesario de digestión (Vnd)

$$Vnd = 1,5 * Vad \quad (m^3) \quad 2.4.8$$

9.- Volumen de almacenamiento de biogás (Vag)

$$Vag = (0,2 - 0,9) * Vad \quad (m^3) \quad 2.4.9$$

10.- Volumen total del biodigestor preseleccionado (Vtd)

$$Vtd = Vag + Vnd \quad (m^3) \quad 2.4.10$$

11.- Cantidad de excreta total para la carga inicial (Cet)

$$Cet = 333 * Vnd \quad (kg) \quad 2.4.11$$

Datos estadísticos, tomando de diferentes autores se ha elaborado la siguiente tabla, de acuerdo con las posibles fuentes.

Tabla 2.2 Fuentes de biogás más empleadas

POSIBLES FUENTES DE BIOGÁS			
	Excreta húmeda (kg)/día por animal	Metros cúbicos de biogás/días.	Proporción Excreta: Agua
Vaca	10	0.360	1:1
Toro	15	0.540	1:1
Cerdo (50 kg)	2.25	0.101	1:1-3
Pollo (2 kg)	0.18	0.008	1:3-8
Caballo	10	0.300	1:1-3
Carnero	2	0.100	1:1-3
Ternero	5	0.200	1:1
Persona adulta	0.40	0.025	1:1

Fuentes: Sánchez, 2005.



Considerando que 1kg de excreta tiene el volumen de 1 litro, para excreta de vaca, con proporción excreta de 1:1 y tiempo de retención (20 a 30 días).

12.-Volumen de carga diaria (Vcd)

$$Vcd = \frac{Vnd}{t_{\text{retención}}} \quad (\text{m}^3) \quad 2.4.12$$

13.- Cantidad de excreta diaria (Ced)

$$Ced = Vcd * 333 \quad (\text{kg}) \quad 2.4.13$$

14.- Cantidad de biofertilizante diario (Cbf)

$$Cbf = Ced \quad (\text{kg}) \quad 2.4.14$$

15.- Chequeo de la carga orgánica (Co)

$$Co = \text{kg}_{\text{excreta}} * Sv \quad (\text{kg/día}) \quad 2.4.15$$

Donde:

Sv: Porcentaje de sólidos volátiles en excreta fresca (20%)

16.- Producción de biogás (Pb)

$$Pb = Co * P_{BSv} \quad (\text{m}^3/\text{día}) \quad 2.4.16$$

Donde:

P_{BSv} : Producción de biogás por kg de Sv (0,42 m³/kg)



2.5.- Manual de instrucción para el biogás

Característica del producto

El biodigestor se ha desarrollado empleando la metodología GBV. Presenta además un diseño novedoso que aporta seguridad, confiabilidad, multifuncionabilidad, modo de empleo fácil, ahorro de tiempo y materiales.

- Una planta de biogás suministra energía y abono. Mejora las condiciones higiénicas y no daña el medio ambiente.
- Una planta de biogás ayuda al presupuesto nacional y mejora las condiciones de trabajo de los que laboran en la cocina.
- Una planta de biogás es una fuente de energía moderna y mejora las condiciones de vida.

¿Qué es el biogás?

El biogás, es un gas de alto valor combustible, producto de la degradación anaerobia, en ausencia de oxígeno, de la materia orgánica de origen animal o vegetal dentro de determinados límites de temperatura, humedad y acidez; rico en metano y dióxido de carbono, el cual posee además nitrógeno, hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, vapor de agua, amoniaco y compuestos aromáticos. Los límites de sus componentes principales se indican en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Composición química del biogás

Elementos	% en que se encuentra
Metano (CH ₄)	50 – 70 %
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 – 50 %
Nitrógeno (N ₂)	0,5 – 3 %
Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	0,1 – 1 %
Vapor de agua	Trazas

Fuente: Guardado, 2000.

Es importante señalar que este gas puede usarse como combustible solo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales al 50 %, nunca menores.

Puesta en marcha, explotación y mantenimiento

Para asegurar el éxito de la operación es fundamental realizar una adecuada puesta en marcha del mismo. Por consiguiente, es muy importante que al momento de efectuarla, sean respetadas las recomendaciones que se ofrecen.

**Puesta en marcha**

Para el llenado se tendrá presente lo siguiente:

Mezclar entre 1 y 1,5 litros de agua por kilogramo o litro de excreta fresca, procurando siempre que los sólidos dentro del digestor se encuentren en el rango de 7 a 9 %. Una vez preparada esta mezcla, se comienza a llenar el digestor hasta que este alcance el nivel del piso del tanque de compensación o regulador de presión.

Es muy importante que durante el proceso de llenado de la planta, a partir del nivel referido, se mantenga abierta la válvula de salida del gas, de manera que escape todo el aire contenido en su interior, en la medida que se va llenando hasta alcanzar su nivel máximo de agua, evitándose de esta manera el agrietamiento de la cúpula por la acción de cargas de choque (llenado brusco). Una vez efectuada esta operación, se cierra la válvula de salida y se espera unos días, periodo en el cual se acumulara biogás en la cúpula. Si el llenado se produce con excreta de vacuno o inóculo (residual extraído de un proceso de digestión anaeróbica por espacio de una semana), la válvula se podrá abrir a las 24 horas.

Cuando la presión dentro del digestor se eleve por primera vez (se sabrá al observar la salida del líquido del tanque compensador) indicara, que el digestor alcanzo su máxima presión de trabajo y su puesta en marcha ha sido satisfactoria.

En los casos que se tenga fácil acceso a cantidades suficiente de agua y la construcción no se haya hecho con el rigor necesario, es recomendable hacer la prueba de puesta en marcha con agua aparentemente limpia y para ello habrá que hacer la misma operación, pero con la ubicación de un manómetro en la tubería a la salida del gas, para medir la presión de aire acumulado en la cúpula, que desplazara el agua en la medida que se va llenando el digestor hasta alcanzar la presión máxima. Una vez alcanzada la presión máxima se deja lleno durante 24 horas, tiempo a partir del cual se hacen las valoraciones correspondientes. Si la perdida de presión, en ese tiempo, es despreciable, entonces su puesta en marcha ha sido satisfactoria y se procederá a su llenado con excreta mezcladas con agua, de la forma anteriormente indicada.

El gas acumulado en la cúpula por encima del nivel de agua en la puesta en marcha, se extraerá por la subida del nivel del tanque regulador hasta el nivel de salida del afluente líquido, o próximo a este, desechara este gas abriendo la válvula colocada a la salida en el registro de inspección que se utilizara además como trampa de agua, e inmediatamente se alejara unos 20 metros de las proximidades de la planta en contra de la dirección del viento evitando fumar o encender alguna llama hasta que el gas escape completamente, el metano es un gas combustible y altamente tóxico y de inhalarlo puede causarle la muerte; luego cerrara y cuando la presión suba nuevamente puede comenzar a utilizar el biogás en la cocción de alimentos.



En la primera puesta en funcionamiento se producirá un barrido de la tubería con el mismo gas.

Este gas inicial no debe ser utilizado, porque esta mezclado con aire y por consiguiente puede ser explosivo y peligroso (incluso es posible que no sea combustible por el alto contenido de CO₂), por lo que se recomienda dejarlo escapar a la atmósfera sin estar conectado al fogón, de la misma forma que anteriormente se explicó.

Advertencias y precauciones de la puesta en marcha

El agua que se utilice en la mezcla no puede ser aclorada, y si es del acueducto se recomienda que no sea directamente de la red, ya que en el biogás hay colonias formadas por microorganismos que pueden morir o disminuir su actividad metabólica, además esta agua no puede contener ningún desinfectante ni otro agente tóxico (aceite, jabón, detergente o antibióticos), en concentraciones que dañen los microorganismos metanogénicos.

Debe tener cuidado que al interior del digestor no penetre tierra o arena, que forman sedimentos difíciles de extraer, así como retos de forraje y paja que forman costras superficiales que disminuyen el nivel de efectividad del digestor y dificultan su explotación y mantenimiento.

Una vez lleno el digestor no se debe adicionar más mezcla hasta pasado alrededor de 15 días, cuando ya es combustible el biogás obtenido; la violación de este paso es la causa de que se obtenga una baja producción de gas o que este no quemee bien (alta proporción de CO₂), en los primeros días de explotación.

Desde el momento en que se empiece a utilizar el biogás producido, la alimentación debe hacerse regularmente (diario) con una proporción volumétrica de 1 de estiércol por 2 de agua, lo que equivale a 80 kg de mezcla, (2 cubeta de 40 litros). La proporción de la mezcla puede variar de acuerdo a las condiciones del estiércol utilizado, si este es muy seco y denso, puede llegar hasta tres litros de agua por kg de estiércol. La regularidad en la práctica puede variar desde 1 hasta 7 días dependiendo de las posibilidades del usuario, siempre y cuando la producción satisfaga sus necesidades.

La alimentación debe hacerse preferentemente antes de las 2 de la tarde para aprovechar el calor producido por el sol. Al menos una vez a la semana o diario se debe drenar el agua acumulada en la tubería, abriendo la válvula ubicada en la trampa de agua. El cierre de dicha válvula debe ser instantáneo para evitar fugas de gas.

Si el llenado no se produce de una sola vez, el biogás puede ser utilizado de un día para otro, al igual que si su carga se efectúa con ayuda de inóculo.



Debe verificar la hermeticidad de las tuberías conductoras utilizando agua con jabón en todos los empalmes, juntas y presillas.

Explotación

En muchas plantas de biogás, a pesar de estar bien construidas y de contar con la suficiente materia prima, no se obtienen los resultados esperados en la producción de gas, simplemente por no ser operada correctamente. Si importante es el buen diseño y la construcción de la planta, importante también es la correcta explotación ya que existe una variedad de factores que influyen sobre la producción de biogás que ocasionan problemas como los expuestos en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Problemas mas comunes en las plantas de biogás y sus soluciones

Nº	Problemas	Causas	Soluciones
1	El digestor no tiene gas, el manómetro no indica presión	La válvula principal esta cerrada	Abre la válvula
		Escape de gas	Verifique con una solución jabonosa los posibles salideros y elimínelos
		Las bacterias no trabajan todavía correctamente	Calcule el tiempo en que lleno el digestor, no puede ser menor que 30 días, compruebe si tiene mal olor, si es así , pare la alimentación, el PH es un parámetro que da información importante de buen funcionamiento, debe de estar entre 6.5 y 8.5; si el PH es más bajo alimente el digestor con una solución de lechada de cal hasta restablecerlo. Si pasado 45 días el problema persiste comuníquese con el especialista
2	La llama de gas es oscilante	Las boquillas están sucias	Límpialas
		La tubería está bloqueada por agua	Elimínela accionando la válvula ubicada en la trampa de agua
3	Excesivo consumo de gas o poca existencia	La distancia entre la llama y el caldero es muy grande	Ajuste la distancia
		Diámetro incorrecto de las boquillas	Adécuelo (si nunca antes había usado el fogón)
		Fuga de gas	Detectar con solución jabonosa; elimínelas
		No ha alimentado	Aliméntela adecuadamente
4	Llama muy pequeña	La boquilla del quemador es muy pequeña	Debe abrir la boquilla entre 2 y 3 mm para fogón domestico y entre 5 y 7 mm para fogón industrial
		El diámetro de tubería de conducción del gas es muy pequeño	Reemplace la tubería de conducción por otra de mayor diámetro



Esta planta esta provista de una tubería de fondo para la extracción de los lodos digeridos, es importante que esta extracción se efectuó 2 veces en la semana y preferentemente en el horario de la mañana antes de utilizar el gas almacenado para garantizar de esta manera la mayor presión posible para facilitar la extracción de lodos. Esta operación deberá realizarse de manera instantánea permitiendo la extracción del lodo digerido y evitando la menor pérdida de presión.

Mantenimiento

No existe una recomendación dada sobre la periodicidad con que se deben realizar las labores de mantenimiento a los digestores de biogás, dada que estas dependen de las condiciones específicas de cada lugar.

A continuación se ofrece una relación de las labores que deben completarse en el mantenimiento a los digestores, acompañadas de sugerencias en cuanto a su periodicidad.

1. Semanalmente se deben de controlar las uniones, empalmes y persillas, comprobar con agua jabonosa para detectar salidero.
2. Eliminación de la nata o sobrenadante. La frecuencia con que se realice esta operación depende del cuidado que se ponga en introducir al digestor la excreta libre de paja, fibras, así como de la calidad de la mezcla que se logre. Se hará siempre que se compruebe que se esta afectando la producción de biogás por la formación de costra. Para atenuar este problema es recomendable cerrar la válvula del digestor y dejar que el mismo alcance su presión máxima y trabaje burbujeando por espacio mínimo de 15 – 20 min.
3. En todas las plantas se debe prever trampas para eliminar ácido H_2S , la cual debe limpiarse cada 15 días de manera que se drene el condensado allí acumulado.
4. Eliminación periódica de la excreta seca que se crea en el tanque de compensación que dificulta el movimiento del afluyente. Si esta operación se hace diaria por problemas estéticos y de higiene, el tiempo que hay que dedicarle a esta tarea puede ser despreciable (1- 5 min.).
5. Chequear cada tres meses el estado de la manguera flexible que une la cocina con el resto de la instalación y sustituirla en caso que sea necesario. De igual forma con igual frecuencia chequear los aditamentos de la cocina.



¿Sabía usted que?

El poder calórico del biogás con concentraciones entre 50 y 70 % de metano es de 4700 a 6500 kCal/m³.

1 m³ de biogás con 70 % de metano equivale a:

- 0,8 litros de Gasolina.
- 1,3 litros de alcohol.
- 0,7 litros de Gasóleo.
- 1,5 m³ de gas de ciudad.
- 2,7 kg de madera.



2.6.- Conclusiones del capítulo II

1. Se expone con profundidad las dificultades y consecuencias del sistema de cocina de la granja de autoconsumo del ISMM, demostrándose la necesidad de otra fuente de energía para la cocción de alimentos.
2. Con el dimensionamiento del digestor, basados en los medios existentes, es posible obtener el volumen de biogás necesario conforme a la demanda calculada.
3. Los resultados del análisis teórico de la metodología GBV permitió caracterizar las posibilidades del centro, establecer el procedimiento del cálculo para su construcción y obtener el manual operativo de la misma.



CAPITULO III

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. VALORACIÓN ECONÓMICA – SOCIAL E IMPACTO AMBIENTAL

3.1.- Introducción

La evaluación final de una investigación es fundamental para determinar en que nivel ha contribuido a aportar al desarrollo político, económico y social dentro de la sociedad. El correcto análisis de esta permite sentar las bases para continuar con otros trabajos sobre la temática tratada, de ahí su ineludible relación con la economía, la sociedad y el medio ambiente, en correspondencia con esto, el **objetivo** del presente capítulo es:

Definir los análisis de los resultados, de la valoración económica – social e impacto ambiental.

3.2.- Análisis de los resultados

Teniendo en cuenta la metodología descrita en el epígrafe 2.4 y considerando las mediciones realizadas, se procedió al cálculo de los parámetros fundamentales de explotación del biodigestor, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1 Parámetros calculados para el biodigestor

Parámetros calculado	Valor	Unidad	Ecuación
Volumen del biodigestor (Vd)	1,68	(m ³)	2.4.1
Volumen del tanque de compensación (Vc)	1,33	(m ³)	2.4.2
Volumen del tanque de mezcla (Vm)	0,14	(m ³)	2.4.3
Volumen total de la planta (Vt)	3,15	(m ³)	2.4.4
Volumen de biogás necesario (Vbn)	0,6	(m ³)	2.4.5
Volumen de biogás adicional (Vba)	0,09	(m ³)	2.4.6
Volumen de biogás asumido por el diseño (Vad)	0,69	(m ³)	2.4.7
Volumen necesario de digestión (Vnd)	1,035	(m ³)	2.4.8
Volumen de almacenamiento de biogás (Vag)	0,138	(m ³)	2.4.9
Volumen total del biodigestor preseleccionado (Vtd)	1,173	(m ³)	2.4.10
Cantidad de excreta total para la carga inicial (Cet)	344,66	(kg)	2.4.11
Volumen de carga diaria (Vcd)	0,036	(m ³)	2.4.12
Cantidad de excreta diaria (Ced)	11,99	(kg)	2.4.13
Cantidad de biofertilizante diario (Cbf)	11,99	(kg)	2.4.14
Chequeo de la carga orgánica (Co)	2,39	(kg/día)	2.4.15
Producción de biogás (Pb)	1,0038	(m ³ /día)	2.4.16



Los resultados expuestos anteriormente, manifiestan claramente que están creada todas las condiciones para la construcción de la planta de biogás, debido entre otras cosas a la pequeña cantidad de materia prima necesaria para el trabajo diario de la instalación y la posibilidad que esta brinda para ser utilizado como polígono experimental. La solución detallada se expone en el anexo 1.

3.3.- Valoración económica de la planta de biogás

La aplicación consecuente de la metodología GBV requiere de una inversión mínima ya que la misma tiene en cuenta el aprovechamiento de todos los recursos presente en la zona, para el caso analizado se muestra el costo de los materiales utilizados y el importe por salario, en la tabla 3.2 y 3.3 respectivamente.

Tabla 3.2 Precios estimados para los materiales empleados

Descripción	Cantidad		Costo unitario		Coto total	
	Total	Unidad	MN	CUC	MN	CUC
Electrodos E-6013	5	kg	0,65	1,11	3,25	5,55
Tubo de PVC de 3/4	60	m	11		660	
Codo de 3/4	5	u	0,15		0,75	
Te de 3/4	2	u	0,17		0,34	
Nudo de 3/4	6	u	1,18		0,36	
Llave de paso 3/4	1	u	40		40	
Cocina de 2 hornilla	1	u		58,5		58,5
Válvula de 8	1	u	86,5		86,5	
Manómetro 15 bar	1	u	7,56	5,5	7,56	5,5
Costo total			147,21	65,11	798,76	69,55

Tabla 3.3 Determinación del importe de fondo de salario

Categoría	Cant.	Salario/días MN	Tiempo de Trabajo/días	Costo total
Ayudanta	4	10,56	6	253,44
Soldador	1	12,92	8	103,36
Costo total				356,8



3.4.- Impacto social de la planta de biogás

El correcto montaje y la explotación de la planta de biogás humaniza el trabajo de los compañeros que laboran en la cocina al contar con una fuente segura, eficiente y de fácil manejo de energía, eliminando el consumo de la leña y evitando todo lo indeseable que trae aparejado este recurso, como escasez y toxicidad. El biogás no genera ningún olor desagradable que pueda afectar a las personas o dañar el entorno, pues el estiércol que constituye el residual a partir del cual se obtiene este combustible se encuentra dentro del digestor sin contacto con el aire, y el material biodigerido, lodos finales, es inoloro y no atrae vectores como moscas y ratones, la única posibilidad de poseer olor desagradable está en la presencia de pequeños volúmenes de sulfuro de hidrógeno, lo cual no ocurre si el biodigestor se alimenta correctamente, pero aun así para contrarrestar cualquier error se coloca antes de llegar al fogón en la tubería del biogás un filtro de cobre o hierro para eliminar posibles contenidos de este gas indeseable. Este filtro es muy sencillo y consiste en una sección no más de 30 cm de largo de un tubo más grueso que el resto de la tubería conductora, el cual se llena con limallas o rechazos de tornería de cobre, hierro, o suelo ferrático rojo, que al reaccionar con el H_2S se transforma en sulfuro de hierro (FeS), o de cobre. El material de relleno de los filtros debe sustituirse periódicamente en dependencia de su estado de agotamiento.

3.5.- Impacto ambiental

Para la cocción de alimentos se han utilizado diferentes combustibles como la biomasa vegetal. Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo utilizan la leña como fuente de energía para la cocción de sus alimentos y otras funciones, lo que provocan, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. Otro aspecto de gran importancia es la necesidad de realizar acciones encaminadas a la disminución progresiva de las aguas contaminantes que se vierten a las aguas dulces superficiales y subterráneas.

Por estos motivos, es necesario emprender acciones encaminadas al empleo de tecnología de bajo impacto medioambiental y que se consideren energías renovables; una de ellas es la implantada en la granja de autoconsumo mediante la producción de biogás a partir de la fermentación anaerobia.

En relación con lo antes planteado, la repercusión que representaría anualmente en la protección al bosque se recoge en la tabla 3.4.

**Tabla 3.4** Repercusión del uso del biodigestor en la protección del bosque

Parámetros	Biodigestor Vd = 1,68 m ³	Unidad
Carbón sin consumirse	130	Sacos
Volumen de madera sin quemarse	100,1	m ³
Valor de la madera salvada valorada a precio de madera para encofrado	22 112,9	Pesos
Área de bosque salvada	0,45	ha

Los impactos positivos de la planta de biogás se relacionan a continuación:

1. Obtención de fertilizante de alta calidad a traves de la transformación de desechos orgánicos.
2. Protección del suelo, del agua, del aire y los bosques representando ventajas medioambientales.
3. Mejoramiento de las condiciones medioambientales e higiénicas a través de la reducción de patógenos, gusanos y moscas.
4. Beneficios económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento en los ingresos y del aumento de la producción agrícola.

3.6.- Análisis y propuesta para la integración del polígono

Entre las actividades complementarias que se plantean para conformar el sistema a ciclo cerrado a escala demostrativa están:

1. **La porcicultura – 2 cerdos (2 corrales de 1,5 x 1,5)**
2. **La avicultura – 4 gallinas criollas (0,6 x 2,40)**
3. **Lombricultura – 2 Ton/año (4 canteros de 1 x 3)**
4. **Piscicultura – 100 Lbr de producto bruto (un estanque de 2,15 x 5,30)**

El resto de las actividades complementarias que deben entregarse al sistema para convertirlo en el referido polígono, están relacionadas con la implementación de otras fuentes renovables de energía a través de molinos de viento, paneles solares, secadores solares, etc., las cuales se acoplan al sistema mediante equipos y aparatos mecánicos que se elaboraran al efecto. El esquema a ciclo cerrado para la pequeña escala se representa en la figura 3.1.

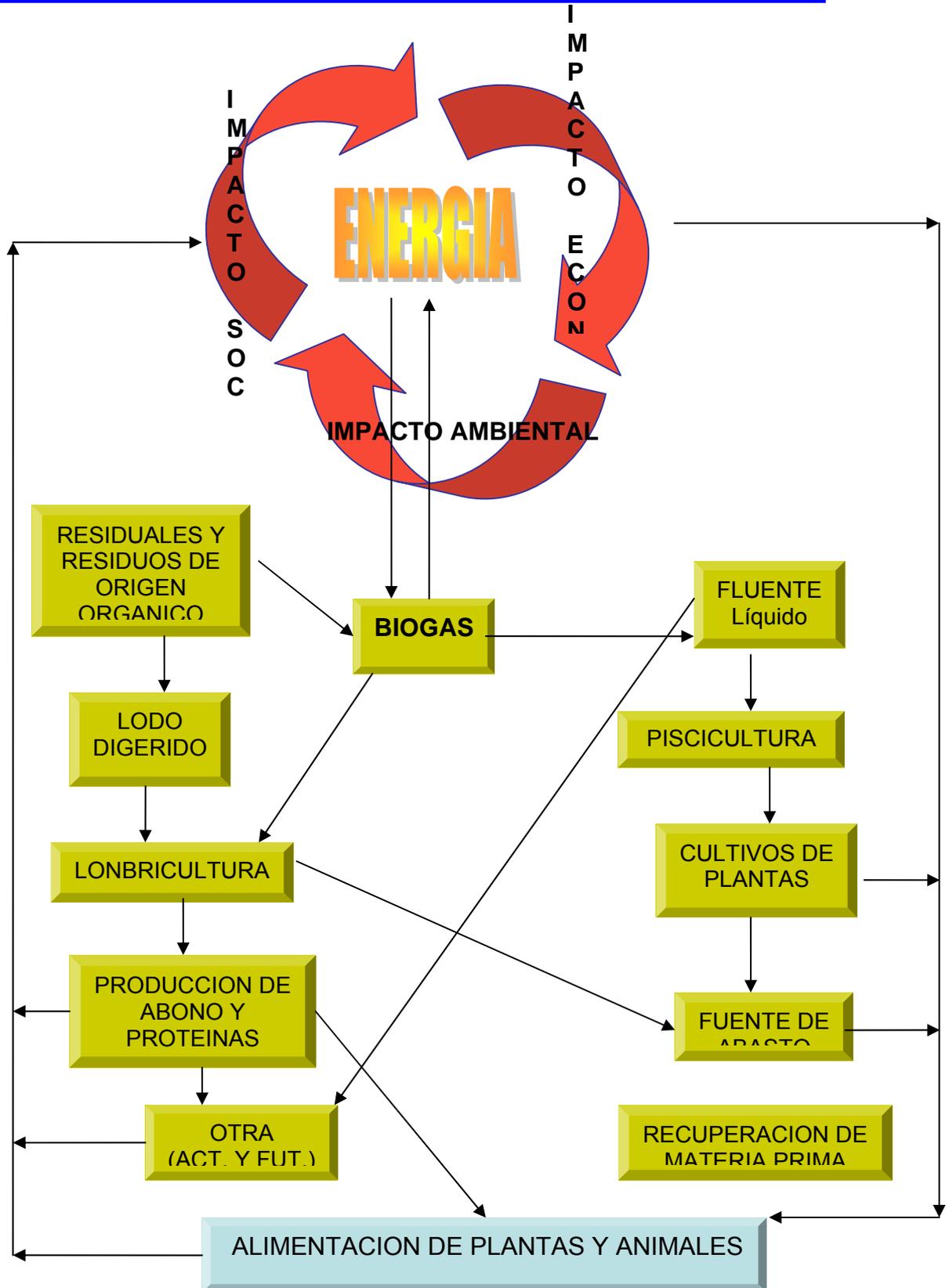


Figura 3.1 Esquema ilustrativo para los sistemas a ciclo cerrado a pequeña escala.



Opción al Título de Ingeniero Mecánico

Carlos E. Batista Gómez 37

Instituto Superior Minero Metalúrgico

Capítulo III

3.7.- Conclusiones del capítulo III

- La construcción de la planta de biogás en la granja de autoconsumo trae aparejado una mejora considerable en las condiciones de trabajo en el área de la cocina y garantiza pequeñas utilidades económicas, debido a la misma inversión que debe realizarse respecto a los numerosos aportes sociales y ambientales asociados a la instalación.
- El dimensionamiento del digestor basado en los medios existentes, permite obtener el volumen de biogás correspondiente a la demanda calculada.



CONCLUSIONES GERALES

- El biodigestor construido basado en la metodología de los de cúpula fija, constituye una solución a los problemas medioambientales, de alimentación, producción de abono, y generación de energía a partir del empleo de residuos orgánicos, que permite además su utilización como medio de enseñanza y educación ambiental.
- El análisis de las condiciones específicas de la granja demostró la factibilidad de la ejecución de la planta a partir del aprovechamiento de los materiales disponibles y de las facilidades que brinda la metodología GBV.
- Quedo establecido en el procedimientos del cálculo, los parámetros fundamentales de explotación; los mismos arrojaron los siguiente resultados: volumen de biogás necesario **0,6 m³**, Cantidad de excreta diaria **11,99 kg** y volumen total de la planta **4,65 m³**.
- Desde el punto de vista económico – social y ambiental es factible la implementación del biogás en sustitución de la leña, pues garantiza aportes superiores a los **14741,93** pesos anuales, no contamina el medio ambiente y mejora las condiciones de trabajo del personal de la cocina.



RECOMENDACIONES

- Implementar la obtención del biogás en la instalación construida para así aprovechar las bondades descrita en la metodología seleccionada.
- Cumplir todas las orientaciones expuestas en el manual de operaciones de la instalación con el objetivo de garantizar la explotación confiable de la planta.
- Trabajar en la creación de los demás componentes del ciclo cerrado, complementando su uso como instalación experimental para la realización de investigaciones relacionadas con el tema.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Catalán Lafuente, J. “Depuradoras”, pág. 570. 1997.
- 2.- Fernández, Polanco, F. García Peña, A; Hernández, S. “Depuración Anaeróbica de aguas residuales”. Valladolid; Universidad de Valladolid, Pág. 213, 1986.
- 3.- Giraldo Gómez, E. “Tratamiento anaeróbico de las aguas residuales”. Universidad de los Andes, Facultad de ingeniería. Bogotá, Uniandes. Pág. 213, 1986.
- 4.- Guardado Chacón, J. A. “Tecnología de bajo costo para el tratamiento de los residuales porcinos en Cuba”. INRH, Villa Clara. 1992.
- 5.- Guardado Chacon, J. A.; Urbina Pedro (venezolano). “Sistema de ciclo cerrado, una alternativa para la agricultura sustentable”. Conferencia Latinoamericana de Agricultura Sustentable. Coro, Falcón, Venezuela, Pág., 21 – 28 Julio 1995.
- 6.- Cordero Rodríguez, N. “Tratamiento Anaeróbico. Reactores UASB”, Pág. 21, Bucaramanga. 1985.
7. - Albagnac. G; “Anaerobic process for wastewater treatment” Mexico, 1990.
8. - Dietz, J.C., Clinebell y A.L. Strub. “Design Considerations for Anaerobic Systems. Journal Water Pollution Control Federation, 38 (4) Pág. 517 – 523, 1966.
- 9.- Guardado Chacon, J. A. “Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento de pequeñas plantas de biogás”. Curso Postgrado. UNAICC. Villa Clara. 2000.
- 10.- Guardado Chacon, J. A. “Algunas consideraciones sobre las características y bondades de la tecnología del biogás”. Conferencia II Taller nacional sobre diseño, construcción, operación y mantenimiento de pequeñas plantas de biogás. Pinar del Río, 21 – 23 Noviembre del 2000.
- 11.- Hernández, Carlos A. “Biogás”. II Forum Nacional de Energía.
- 12.- Programa de desarrollo de las fuentes nacionales de energía. Wmwelt forum. “Biogás Tecnología”. Htm. Pág. 1 – 2, 2001.
- 13.-Rivera Duque, J. A. “Evaluación y comparación de sistemas anaeróbicos de tratamiento de aguas residuales”. Bucaramanga, Pág. 214, 1987.



- 14.- Rodríguez Rebullido A. “Ética ecológica: una premisa para la solución de los problemas del medio ambiente”. Congreso Interamericano del Medio Ambiente. Ciudad Habana 17 – 42, 1998.
- 15.- Turríni Enrico. “Energía y Democracia 2. Cuba – solar, 1997.
- 16.- Turríni Enrico. “El camino del sol 2. Cuba – solar, 1999.
- 17.- La Motta Díaz, Enrique J. “Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactor”. Water science and technology, Pág. 86 – 101, 1983.
- 18.- Aisse, M. “Protocolo de investigación, Tratamiento de desagües domésticos en reactor anaeróbicos UASB” Pág. 71, Lima, 1985.
19. – Van der Meer; M.M. I Vlettler, R. “Anaerobic treatment of wastewater the gas – liquid – sludge separator”. JWPCF, Vol.54 Núm. 11, Pág. 1482 – 1492. 1982.
- 20.- Caraballo Montiel, E. “Metodología GBV para la construcción, diseño y construcción del biodigestor del ISMM”, 2006.



ANEXOS

Anexo 1: Hoja de cálculo utilizada en los cálculos del proyecto de construcción del biogás de la granja de autoconsumo del ISMM de Moa.

Dimensiones de la planta de biogás

Digestor

Diámetro del tanque (D)

Altura del tanque (L)

$$D = 0,75 \text{ m}$$

$$L = 1,90 \text{ m}$$

Volumen del biodigestor

$$Vd = \pi * \frac{(D)^2}{4} * L * 2$$

$$Vd = 1,68 \text{ m}^3$$

Tanque de compensación

Diámetro del tanque (D)

Altura del tanque (L)

$$D = 0,75 \text{ m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Volumen del tanque de compensación

$$Vc = \pi * \frac{(D)^2}{4} * L$$

$$Vc = 1,33 \text{ m}^3$$

Tanque de mezcla

Diámetro del tanque (D)

Altura del tanque (L)

$$D = 0,59 \text{ m}$$

$$L = 0,50 \text{ m}$$

Volumen del tanque de mezcla

$$Vm = \pi * \frac{(D)^2}{4} * L$$

$$Vm = 0,14 \text{ m}^3$$

Volumen total de la planta

$$Vt = Vd + Vc + Vm$$

$$Vt = 3,15 \text{ m}^3$$



Considerando que $1\text{m}^3 = 1000$ litros; y que 1 kg de excreta es aproximadamente 1 litro se desarrolla el procedimiento de cálculo.

Volumen de biogás necesario para un fogón (V_{bnc})

$$V_{bnc} = 0,30 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Número de horas de trabajo (ht)

$$ht = 2 \text{ h}$$

Número de fogones

$$nf = 1$$

Volumen de biogás necesario (V_{bn})

$$V_{bn} = V_{bnc} \cdot ht \cdot nf$$

$$\mathbf{V_{bn} = 0,6 \text{ m}^3}$$

Volumen de biogás adicional (V_{ba})

$$V_{ba} = 0,15 \cdot V_{bn}$$

$$\mathbf{V_{ba} = 0,09 \text{ m}^3}$$

Volumen de biogás asumido para el diseño (V_{ad})

$$V_{ad} = V_{bn} + V_{ba}$$

$$\mathbf{V_{ad} = 0,69 \text{ m}^3}$$

Volumen necesario de digestión (V_{nd})

$$V_{nd} = 1,5 \cdot V_{ad}$$

$$\mathbf{V_{nd} = 1,035 \text{ m}^3}$$

Volumen de almacenamiento de biogás (V_{ag})

$$V_{ag} = 0,2 \cdot V_{ad}$$

$$\mathbf{V_{ag} = 0,138 \text{ m}^3}$$

Volumen total del biodigestor preseleccionado (V_{td})

$$V_{td} = V_{ag} + V_{nd}$$

$$\mathbf{V_{td} = 1,173 \text{ m}^3}$$



Tiempo de retención en días.

$$t_{\text{retención}} = 22$$

Tiempo de retención real. (para $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ el factor de corrección es 1.3)

$$t_{\text{retención r}} = t_{\text{retención}} * 1,3$$

$$t_{\text{retención r}} = \mathbf{28,6}$$

Proporción excreta – agua, 1:2

Cantidad de excreta total para la carga inicial (Cet)

$$\text{Cet} = 333 * \text{Vnd}$$

$$\mathbf{\text{Cet} = 344,66 \text{ kg}}$$

Volumen de carga diaria (Vcd)

$$\text{Vcd} = \text{Vnd} / t_{\text{retención r}}$$

$$\mathbf{\text{Vcd} = 0,036 \text{ m}^3}$$

Cantidad de excreta diaria (Ced)

$$\text{Ced} = \text{Vcd} * 333$$

$$\mathbf{\text{Ced} = 11,99 \text{ kg}}$$

Cantidad de biofertilizante diario (Cbf)

$$\text{Cbf} = \text{Ced}$$

$$\mathbf{\text{Cbf} = 11,99 \text{ kg}}$$

Chequeo de la carga orgánica (Co)

Porcentaje de sólidos volátiles en excreta fresca (Sv)

$$\text{Sv} = 0,20 \text{ día}$$

Producción de biogás por kg de Sv

$$P_{\text{BSv}} = 0,42 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{kg}_{\text{excreta}} = 11,99 \text{ kg}$$

$$\text{Co} = \text{kg}_{\text{excreta}} * \text{Sv}$$

$$\mathbf{\text{Co} = 2,39 \text{ kg/día}}$$



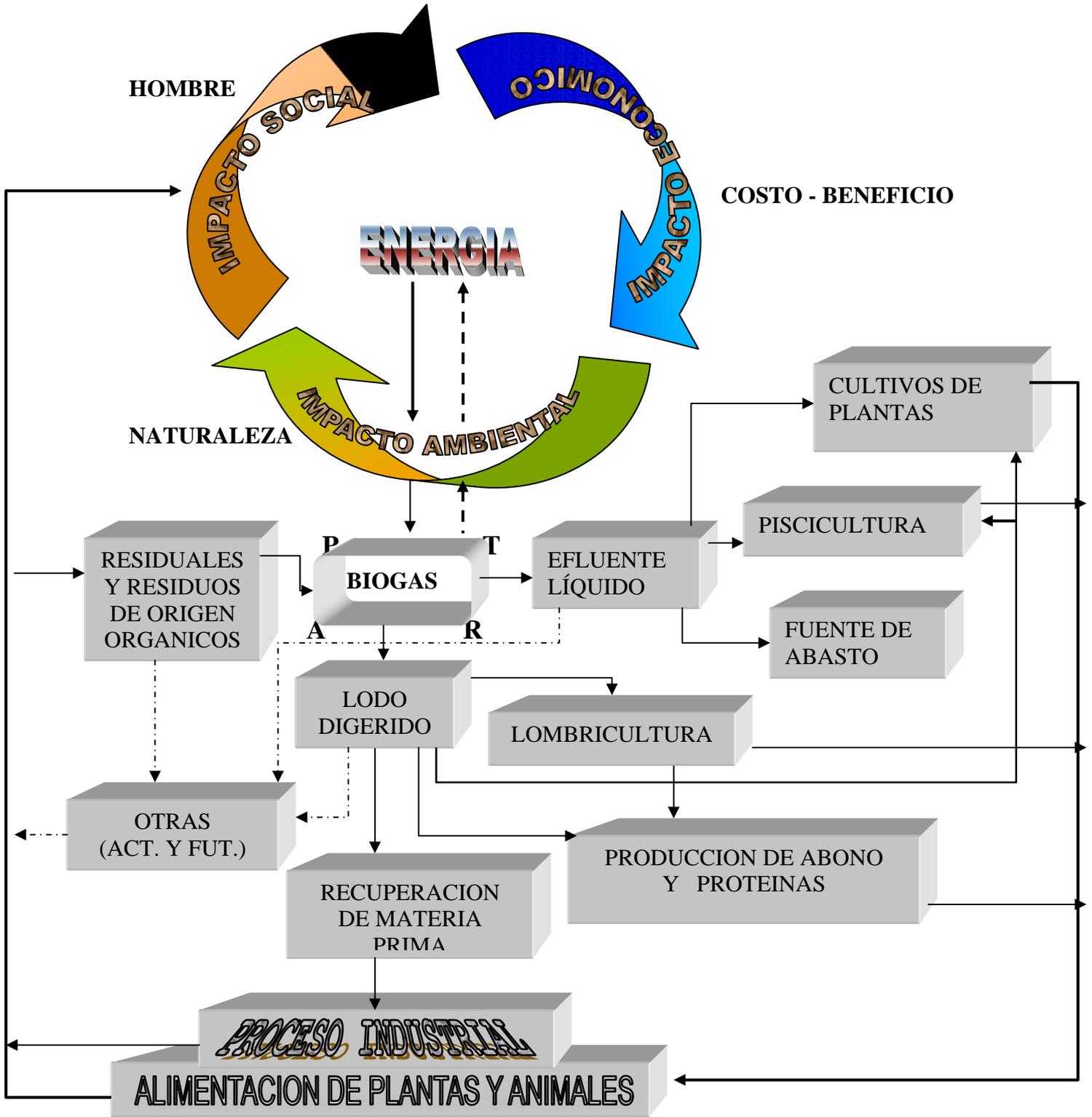
Producción de biogás (Pb)

$$Pb = Co \cdot P_{BSv}$$

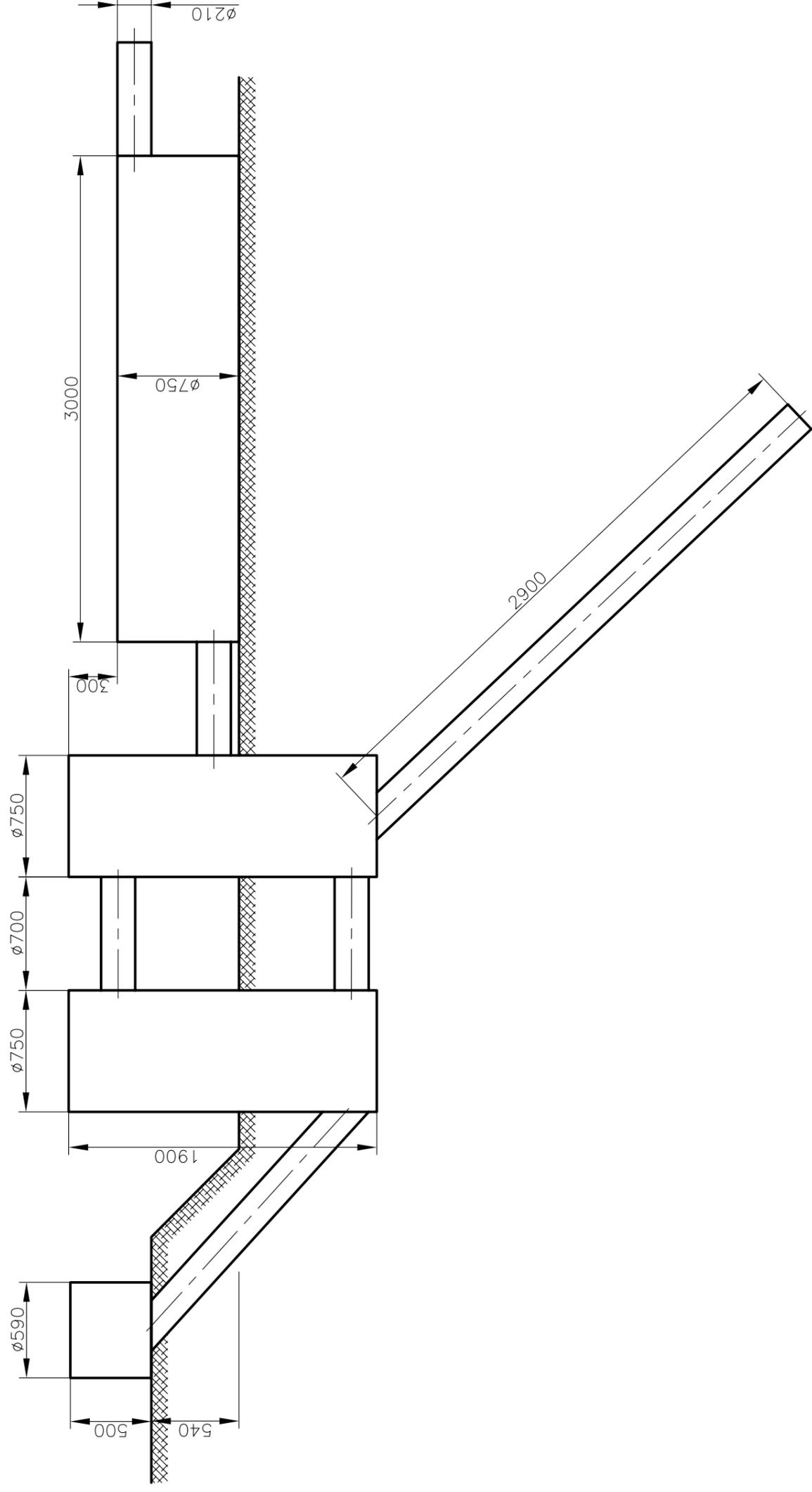
$$Pb = 1,0038 \text{ m}^3/\text{día}$$



Anexo 2: Esquema ilustrativo para los sistema de ciclo cerrado.



671019-01



ISMM		BIODIGESTOOR DE CUPULA FIJA		ETAPA DE ELABORACION	
MASA		ESCALA	HOJA No.	CANT.	HOJAS
		1:30	1	1	1
				671019-01	
Mod.	No. Not.	Firma	Fecha		
Dibujo	C. BATISTA				
Proyecto	C. BATISTA				
Revizado					
C. técnico					
C. Norma					
Aprobado					

--	--	--	--