

PROYECTO DE GRADO EN INVESTIGACIÓN

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE
LA MATERIA PRIMA NO TRADICIONAL DEL SECTOR AVÍCOLA
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

AUTOR

ERICK MARTÍNEZ ORTEGA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FISICOMECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

2009

PROYECTO DE GRADO EN INVESTIGACIÓN

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE
LA MATERIA PRIMA NO TRADICIONAL DEL SECTOR AVÍCOLA
PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

ERICK MARTÍNEZ ORTEGA

**Tesis de grado para optar por el título de Ingeniero
Electricista**

Director

Dr. JOHANN F. PETIT

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

2009

DEDICATORIA

A Dios por haberme iluminado, por llenarme de fortaleza día a día para hacer realidad mis sueños, y por haberme bendecido dándome la familia de la cual me siento muy orgulloso y disfruto día a día.

A mi padre Yirish, a mi madre Luz Elvira, a mi hermano Yirish y a mi hermana Bet, por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional para hacer realidad mis sueños y alcanzar mis metas. Porque son mi inspiración, admiración, y ejemplo, que hace que cada día viva para agradecerles lo feliz que me hace saber que formo parte de sus vidas.

A mi abuelo y demás familiares por sus sabios consejos, los cuales me han hecho ser una mejor persona.

Erick Martínez Ortega

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud que me brinda a mí y a mi familia, por mantenerme bajo su manto celestial, y por iluminarme día a día para alcanzar mis metas.

A mi familia por apoyarme en todo lo que he emprendido desde el día en que nací.

A mis profesores asesores Dr. Johann Farith Petit y Dr. Gabriel Ordoñez por haberme guiado en la formulación y desarrollo de esta tesis.

A Marcela Gaviria, al Dr. Sergio Latorre y al I.E. Edgar Pinzón por el apoyo incondicional que me proporcionaron para que las labores de este proyecto se realizaran correctamente.

Y a todas las personas que aportaron su granito de arena para que este proyecto saliera adelante.

Erick Martínez Ortega

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	2
1.1. ENERGÍA RENOVABLE	2
1.2. BIOMASA	2
1.3. BIOGÁS	4
1.4. GENERACIÓN DE BIOGÁS	6
1.4.1. Hidrólisis	6
1.4.2. Formación de ácidos	6
1.4.3. Formación de metano	7
1.5. USOS DEL BIOGÁS	9
1.6. TIPOS DE BIODIGESTORES UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	9
1.6.1. Pozo séptico	10
1.6.2. Biodigestor de campana flotante	11
1.6.3. Biodigestor de campana fija	11
1.6.4. Biodigestor de plástico tubular	12
1.6.5. Biodigestor flotante	13
1.6.6. Digestores de alta velocidad o flujo inducido	14
1.6.7. Biodigestor tipo industrial	14
2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE POLLINAZA	16
2.1. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA POLLINAZA	16
2.2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	17
2.3. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA MICRO TURBINA A GAS	20
2.4. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA CELDA DE COMBUSTIBLE	22

3. METODOLOGÍA PROPUESTA	27
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA GRANJA TIPO	28
3.1.1. Capacidad máxima de almacenamiento	28
3.1.2. Encerramiento de aves	28
3.1.3. Ciclo de almacenamiento y cantidad de pollinaza producida por pollo	28
3.1.4. Tiempo de recolección de la pollinaza	28
3.2. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA GRANJA	29
3.3. CÁLCULO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA GRANJA	29
3.3.1. Factores de demanda	29
3.3.2. Factores de diversidad	29
3.3.3. Demanda máxima	30
3.4. BIODIGESTOR Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	32
3.4.1. Capacidad del biodigestor	32
3.4.2. Alimentación del biodigestor	32
3.4.3. Generación del biogás	33
3.5. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL BIOGÁS	33
3.6. SELECCIÓN DE EQUIPOS	35
3.6.1. Biodigestor	35
3.6.2. Kits de bolsas reservorio	35
3.6.3. Grupo electrógeno	35
3.7. ANÁLISIS FINANCIERO	38
3.7.1. Identificación de inversiones	38
3.7.1.1. Inversiones fijas	38
3.7.1.2. Inversiones diferidas	39
3.7.1.3. Capital de trabajo	39
3.7.2. Identificación de costos y gastos	39
3.7.2.1. Costos fijos	40
3.7.3. Ingresos	40
3.7.4. Evaluación financiera del proyecto	41
3.7.4.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)	41
3.7.4.2. Valor Presente Neto (VPN)	42
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44

5. BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Usos del biogás	9
Figura 2. Pozo séptico	10
Figura 3. Biodigestor de campana flotante	11
Figura 4. Biodigestor de campana fija	12
Figura 5. Biodigestor de plástico de bajo costo	13
Figura 6. Biodigestor tipo industrial	15
Figura 7. Pieza para adaptar un motor de gasolina al uso de biogás	18
Figura 8. Operación del motor de combustión interna de 4 tiempos	19
Figura 9. Generación de energía eléctrica con motor de combustión interna	20
Figura 10. Ciclo de Brayton	21
Figura 11. Generación de energía eléctrica con turbina de gas	21
Figura 12. Funcionamiento de la celda de combustible	24
Figura 13. Metodología propuesta	27
Figura 14. Proceso de generación de energía eléctrica a partir de paja	34
Figura 15. Grupo electrógeno Benasque	37
Figura 16. Planta de generación de energía eléctrica TONITZ Alemania	49
Figura 17. Biodigestor	54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización química de la pollinaza	3
Tabla 2. Composición química del biogás	5
Tabla 3. Equivalencia energética	5
Tabla 4. Etapas para la producción de biogás	7
Tabla 5. Algunos datos de la tecnología del biogás	8
Tabla 6. Tabla comparativa entre los diferentes tipos de celdas	25
Tabla 7. Tabla comparativa de costos entre las tecnologías	25
Tabla 8. Consumo de energía eléctrica de la granja tipo	31
Tabla 9. Presupuesto de inversiones	38
Tabla 10. Costos y gastos mensuales de operación	40
Tabla 11. Ingresos mensuales	41
Tabla 12. TIR	42
Tabla 13. VPN	42
Tabla 14. Datos técnicos de la planta de Tonitz Alemania	49
Tabla 15. Datos técnicos de la planta de Eye Suffolk, Reino Unido	50
Tabla 16. Datos técnicos de la planta de Glanford, Lincolnshire	50
Tabla 17. Datos técnicos de la planta de Thetford, Reino Unido	50
Tabla 18. Materiales de obra	51
Tabla 19. Mano de obra	52
Tabla 20. Especificaciones del biodigestor	55
Tabla 21. Cuadro consolidado de costos	56

RESUMEN

TÍTULO: Estudio de factibilidad de uso racional y eficiente de la materia prima no tradicional del sector avícola para la generación de energía eléctrica.¹

AUTOR: Erick Martínez Ortega.²

PALABRAS CLAVES: Pollinaza, biodigestor, biogás, grupo electrógeno, generación de energía eléctrica.

DESCRIPCIÓN:

Esta tesis consiste en un trabajo investigativo que se enfoca hacia el uso racional y eficiente de energías no tradicionales, ya que se basa en la utilización de materias primas renovables, específicamente la pollinaza, para la generación de energía eléctrica en la industria avícola, y se justifica por el interés en hallar e implementar un mecanismo para el autoabastecimiento de la energía eléctrica de las empresas pertenecientes al sector avícola usando los residuos agrícolas específicamente la pollinaza y determinando su viabilidad económica y técnica en busca de un mayor rendimiento y menores costos. Este trabajo presenta en primer lugar un marco conceptual sobre el uso de energías renovables, sus características, su proceso de generación, y su importancia desde el punto de vista ambiental, así como algunos ejemplos de estas. Posteriormente formula un análisis técnico en el cual se explica detalladamente el proceso para la generación de energía eléctrica a partir recursos renovables como lo es la pollinaza, y se describen las características de los elementos que deben formar parte de dicho sistema, así como también se dan a conocer las equivalencias energéticas entre pollinaza, biogás, y potencia eléctrica teniendo en cuenta los niveles de materia prima producida por una granja. Finalmente presenta un estudio financiero mediante el cual se determina la viabilidad económica para la implementación del sistema integrado de generación de energía eléctrica en una granja tipo.

¹ Proyecto de grado.

² Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Phd Johann Farith Petit.

ABSTRACT

TITLE: Feasibility study of rational and efficient use of nontraditional raw materials of the poultry sector for generating electricity.³

AUTHOR: Erick Martínez Ortega.⁴

KEY WORDS: Chicken manure, fermenter, biogas, generator, power generation.

DESCRIPTION: This thesis is a research work that focuses upon the rational and efficient use of the nontraditional energies, since it is based on the use of renewable raw materials, specifically the chicken manure to generate electricity in the poultry industry, and it is justified by the interest in finding and implementing a mechanism for self-sufficiency in power by businesses in the poultry sector using agricultural wastes specifically chicken manure and determining its economic and technical feasibility for increased performance and lower costs. This paper first presents a conceptual framework on the use of renewable energies, their characteristics, its generation process, and its importance from the environmental viewpoint, as well as some examples of these.

Subsequently made a technical analysis which explains in detail the process for generating electricity from renewable resources as is the chicken manure, and describes the characteristics of the elements that should be part of that system and also given to know the energy equivalence between chicken manure, biogas, electric power and taking into account the levels of raw material produced by a farm. Finally has a financial study by which is determined the economic feasibility for the implementation of the integrated power generation system.

³ Degree project.

⁴ Faculty of Physical-Mechanic Engineering. Electric, Electronic, and Telecommunication school. Phd, Johann Farith Petit.

INTRODUCCIÓN

Debido al alza en los costos de los recursos utilizados para la producción de energía, como es el caso del petróleo, se ha hecho más notable la necesidad de buscar nuevas alternativas que puedan suplir las grandes demandas de este servicio que es de vital importancia para el desarrollo de la sociedad, de ahí, el interés por convertir los residuos agroalimentarios y avícolas en fuente de energía.

Este tipo de energías que se basan en las materias primas no tradicionales tales como la biomasa y los desechos orgánicos para la producción de energía eléctrica hacen parte de las energías renovables, y son claves para la disminución del impacto ambiental, ya que como es de público conocimiento, en los últimos años se ha incrementado el efecto invernadero producido por diversos factores que van en contra del buen estado del planeta, lo que acarrea un grave problema para todos los habitantes, puesto que, si no se minimiza este efecto, ésta y futuras generaciones se verán afectadas negativamente.

De lo anterior se observa la importancia de realizar estudios en busca de nuevas formas de generación eléctrica que permitan el adecuado desarrollo de la sociedad sin perjudicar el medio ambiente.

A partir de estas razones es que se plantea el proyecto que tiene como finalidad la generación de energía eléctrica para el autoabastecimiento de las granjas avícolas.

1. GENERALIDADES

La producción de energía eléctrica con base en diferentes tipos de biomasa entre las cuales se encuentra la pollinaza ha ido tomando mayor valor debido a que aparte de suplir eléctricamente algún sector o región, se atenúa el deterioro del medio ambiente ya que son fuentes de energía que comparadas con las convencionales son más limpias, contribuyendo de esta manera a la disminución del efecto invernadero. De aquí que, realizar estudios sobre este tema e incentivar su uso se hace cada vez más importante. A continuación se darán algunos conceptos y términos relevantes para el desarrollo de esta tesis.

1.1. ENERGÍA RENOVABLE

Es aquella que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales [7].

Las fuentes renovables de energía son aquellas que son tan abundantes en la Tierra que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no; además, su impacto sobre el entorno es mínimo por lo que se les considera energías limpias. Entre las fuentes de energía renovable están: solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidroeléctrica y oceánica.

1.2. BIOMASA

La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica. Esa energía se puede recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles [4].

Dentro de la definición de biomasa se incluyen las materias de tipo vegetal, residuales como los residuos forestales, agrícolas, o procedentes de cultivos que tienen carácter renovable, así como los residuos ganaderos, y las deposiciones animales con valor energético entre las cuales está la pollinaza cuya caracterización se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Caracterización química de la pollinaza [20].

Parámetro	Pollinaza
PH	9.50 ± 0.02
Conductividad (mS/cm)	4.1 ± 0.1
Humedad (%)	25.8 ± 0.2
Cenizas (%)	39 ± 3
Potasio (%)	2.1 ± 0.1
Carbono orgánico (%)	23 ± 5
Materia orgánica	39.6 ± 8
Nitrógeno	2.3 ± 0.2
Relación C/N	10.0
Fosforo (P ₂ O ₅)	4.6 ± 0.2
C.I.C (meq/100 g muestra)	125.0

Hoy día se pretende utilizar la biomasa como fuente de energía por dos razones básicas: es renovable y tiene un menor impacto ambiental. Cuando se utiliza, por ejemplo, gasolina como combustible, se está utilizando una sustancia que ha necesitado millones de años para crearse, por tanto se puede decir que es una fuente de energía no renovable. No ocurre lo mismo con la biomasa. Es una fuente energética renovable si el ritmo de utilización de ésta no sobrepasa el de la creación de la misma [3]. En cuanto al impacto ambiental, la biomasa suele ser un combustible más limpio en azufre y metales que los combustibles fósiles por lo cual contribuye a la disminución del llamado efecto invernadero [3].

La biomasa también se utiliza para la producción de biodiesel y etanol que sustituyen al ACPM y la gasolina respectivamente. Otro uso diferente a la

combustión directa de la biomasa, es la fermentación anaeróbica (sin aire) por bacterias. En el proceso de fermentación se produce un gas (llamado biogás) rico en metano y, por tanto, combustible que se puede utilizar como tal [3].

Debido a que el termino biogás es de gran importancia en el desarrollo del proyecto, a continuación se explicará el proceso por medio del cual se obtiene este preciado gas.

1.3. BIOGÁS

El biogás es un gas compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono que como se puede observar en la tabla 2 componen entre un 60-70% y de un 30- 40% respectivamente del gas total. También se debe tener en cuenta que la composición del biogás depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa. Este biogás se obtiene como resultado de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias (sin presencia de oxígeno), producido en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor. El biogás puede ser aprovechado como combustible, ya que presenta un elevado poder calorífico que depende del contenido en metano [6]. En la tabla 3 se pueden observar las equivalencias energéticas existentes entre el biogás, la energía eléctrica y varios tipos de combustibles usados para producir energía entre los que se destacan la gasolina y el diesel. Estos últimos son los principales combustibles utilizados para alimentar motores de combustión interna, que es el tipo de motor que va a ser utilizado en este trabajo de investigación y del cual se hablará más adelante.

Tabla 2. Composición química del biogás [5].

COMPOSICION QUIMICA DEL BIOGAS		
Componentes	Formula química	Porcentaje (%)
Metano	CH ₄	60-70
Gas carbónico	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Hay que tener en cuenta que si el biogás va a ser utilizado como combustible en motores de explosión, debe purificarse eliminando algunos componentes que resultarían perjudiciales en el proceso, de la siguiente manera: el gas carbónico haciendo burbujear el biogás a través de agua, el ácido sulfhídrico haciéndolo burbujear a través de una solución de soda cáustica en agua que contiene sulfato de cobre disuelto o pasándolo por una trampa de limadura de hierro (esponjilla de alambre), o con la introducción de pequeñas cantidades de aire (3% a 5% del volumen del depósito para el biogás) reduciendo así hasta en un 95% el ácido sulfhídrico producido. La humedad se elimina circulando el biogás entre cloruro de calcio o sílica gel [5].

Tabla 3. Equivalencia energética [18].

BIOGAS	EQUIVALENCIA
1 m ³	0.16 litros de gasolina
1 m ³	0.18 litros de diesel
1 m ³	0.89 Kg de leña
1 m ³	2 kWh de energía eléctrica

1.4. GENERACIÓN DE BIOGÁS

La producción de biogás se hace a través de un proceso anaeróbico de fermentación o digestión. En este proceso intervienen algunos factores como las características de la biomasa y la acción metabólica de los organismos microbiales para producir combustibles líquidos y gaseosos [8]. El proceso para producir metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de otros compuestos, a partir de los materiales orgánicos en fermentación, se cumple mediante una serie de complejas reacciones bioquímicas. Una parte del carbono se oxida completamente formando anhídrido carbónico, y la otra se reduce en alto grado para formar metano [9]. En general, se considera que la digestión anaeróbica se lleva a cabo en tres etapas que se resumen a continuación.

1.4.1. Hidrólisis

Durante esta etapa los compuestos orgánicos complejos tales como grasas, proteínas, carbohidratos, celulosa, etc., son desdoblados gracias a la acción de enzimas extracelulares producidas por bacterias hidrolíticas [2].

Estas bacterias se presentan en variedad y cantidad diferentes según las materias orgánicas utilizadas. Como fruto de esta acción enzimática, se producen aminoácidos, azúcares simples y ácidos grasos de cadena larga [2].

1.4.2. Formación de ácidos

Los compuestos simples generados en el paso anterior son usados como substrato por bacterias productoras de ácido o acidogénicas, en la segunda etapa del proceso. Como fruto de la actividad de estas bacterias se generan ácido acético ($C_2H_4O_2$), hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2). Igualmente se producen otros ácidos grasos volátiles tales como el propiónico y el láctico, producto del metabolismo bacteriano de proteínas grasas y carbohidratos [2].

1.4.3. Formación de metano

En esta etapa se produce metano y otros productos finales, gracias a la acción de bacterias metanogénicas que son anaerobias obligadas y que poseen tasas de crecimiento inferiores a las bacterias hidrolíticas y acidogénicas. Las bacterias metanogénicas utilizan ácido acético, metanol o dióxido de carbono e hidrógeno para producir gas metano. El ácido acético es el substrato responsable de la producción de aproximadamente el 70% del gas metano. Los microorganismos de fermentación que producen el biogás engloban, tanto las bacterias que descomponen los materiales orgánicos sin producir metano, como aquellas que sí lo producen. Por diversos procesos y gracias a la cooperación e interacción entre ellos, estos microbios convierten distintos materiales y degradan complejas materias orgánicas para formar metano [8].

A continuación se resumen las etapas mediante las cuales se produce el biogás.

Tabla 4. Etapas para la producción de biogás [15].

ETAPA	MICROORGANISMOS	PRODUCTO
ETAPA 1: Hidrólisis BIOMASA	Estreptococos	Monómeros Aminoácidos Glicéridos y lípidos Productos intermedios H ₂ y CO ₂
ETAPA 2: Acetogenesis Monómeros Aminoácidos Glicéridos y lípidos Productos intermedios H ₂ y CO ₂	Syntrophobacter sp Clostridium sp Acetobacter sp	Ácidos orgánicos Ácido acético Ácido propiónico Ácido láctico Alcoholes CO ₂ , N ₂ , H ₂

Continuación tabla		
ETAPA 3: Metanogénesis	Methanobacterium	CH ₄
Ácidos orgánicos	Methanobrevibacter	CO ₂ , H ₂ S, H ₂
Ácido acético	Methanococcus	Productos intermedios
Ácido propiónico	Methanomicrobium	
Ácido láctico	Methanogenium	
Alcoholes	Methanospirillum	
CO ₂ , N ₂ , H ₂		

Por otra parte, en la tabla 5 se muestran algunos datos relevantes de las condiciones ambientales necesarias para la producción de biogás así como también valores de sus propiedades calóricas y eléctricas. Para efectos de esta tesis hay que tener en cuenta principalmente la equivalencia presentada entre excreta de ave y cantidad de biogás producido puesto que esta va a ser la fuente de biomasa en la cual se basa este trabajo y que compone el principal residuo del sector avícola.

Tabla 5. Algunos datos de la tecnología del biogás [10] [11].

PARÁMETRO	CANTIDAD
T° adecuada de funcionamiento	20-35 °C
Tiempo de retención	40-100 días
Valores óptimos de PH	6,6-7,6
Ratio para un ave	1 Kg de estiércol/día = 0,062m ³ gas/día
Ratio para una vaca	1 kg estiércol /día = 0,044 m ³ gas /día
Ratio para un cerdo	1 kg de estiércol/día = 0,078 m ³ gas/día
Gas usado para cocinar	0,1-0,3 m ³ /persona/día
Consumo de una lámpara de combustible	2,4-3,6 m ³ /día

1.5. USOS DEL BIOGÁS

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. Entre sus principales aplicaciones se encuentran la producción de calor, de iluminación, de potencia mecánica, y aun más importante para este caso, producción de energía eléctrica como se puede observar gráficamente en la figura 1.

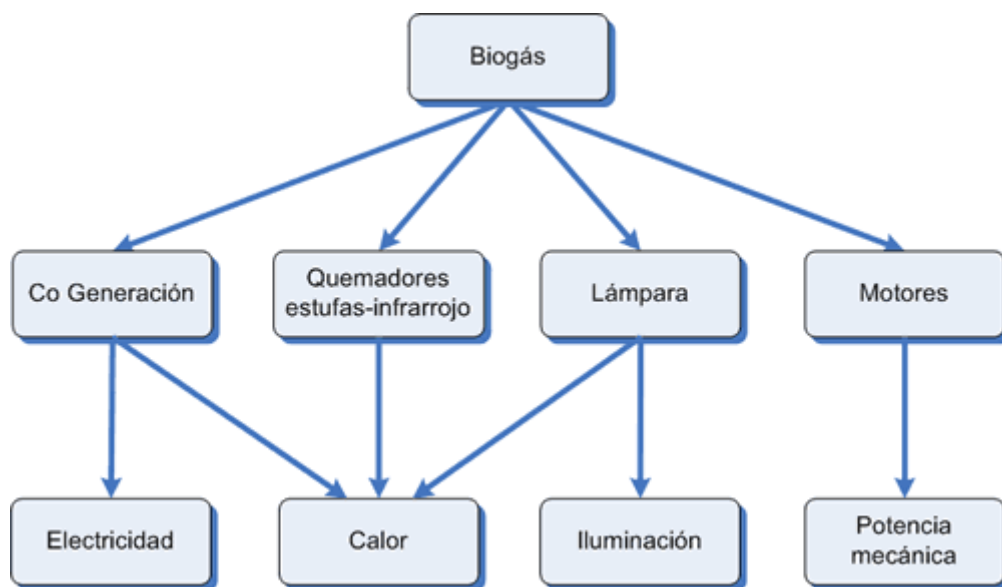


Figura 1. Usos del biogás [2].

1.6. TIPOS DE BIODIGESTORES UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Construir biodigestores es una alternativa viable para transformar las excretas en biogás y abono orgánico de forma que conlleve beneficios para familias, pequeños y grandes productores. En la implementación de los biodigestores se han creado muchos tipos y formas distintas de construcciones, que buscaban una mayor eficiencia en la producción de biogás y un menor costo de inversión, a continuación se describen algunas de las tecnologías más utilizadas para la fermentación anaeróbica de residuos [14].

1.6.1. Pozo séptico

Este tipo de biodigestor, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas, fue el pilar en mecanismos para la fermentación anaeróbica de los residuos domésticos. Para su correcta operación es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar, haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación [14].

Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con polímeros a esta agua con el fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica [2].

Este tipo de biodigestor consiste en unas cámaras en las cuales caen los residuos domésticos y de donde son transportados a la fosa séptica que es en donde se produce la fermentación que luego va a una zanja para su respectiva filtración, como se muestra en la siguiente figura.

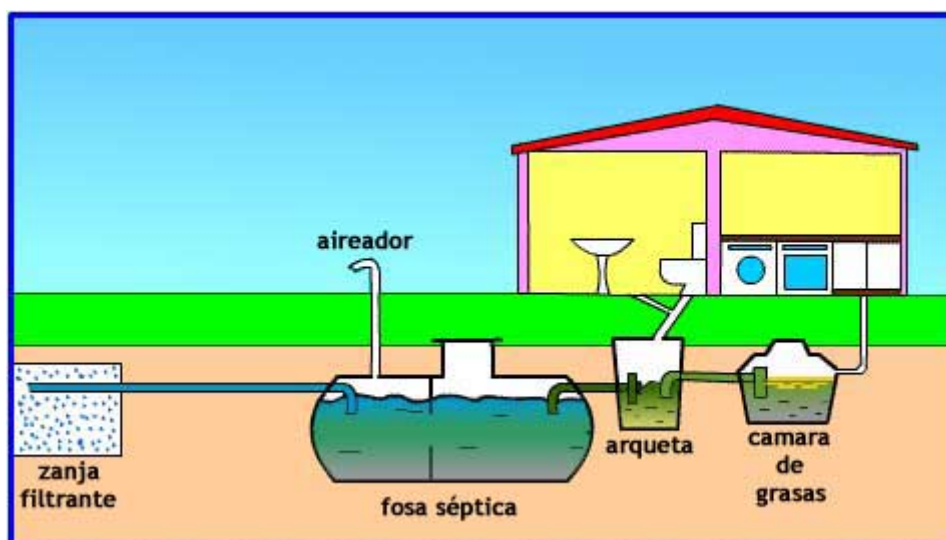


Figura 2. Pozo séptico [12].

1.6.2. Biodigestor de campana flotante

Este biodigestor también conocido como tipo indio consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP por sus siglas en inglés) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y el fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas depende del peso del gas almacenado por el área de la unidad y normalmente varía entre 4 y 8 cm de presión de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada [14].

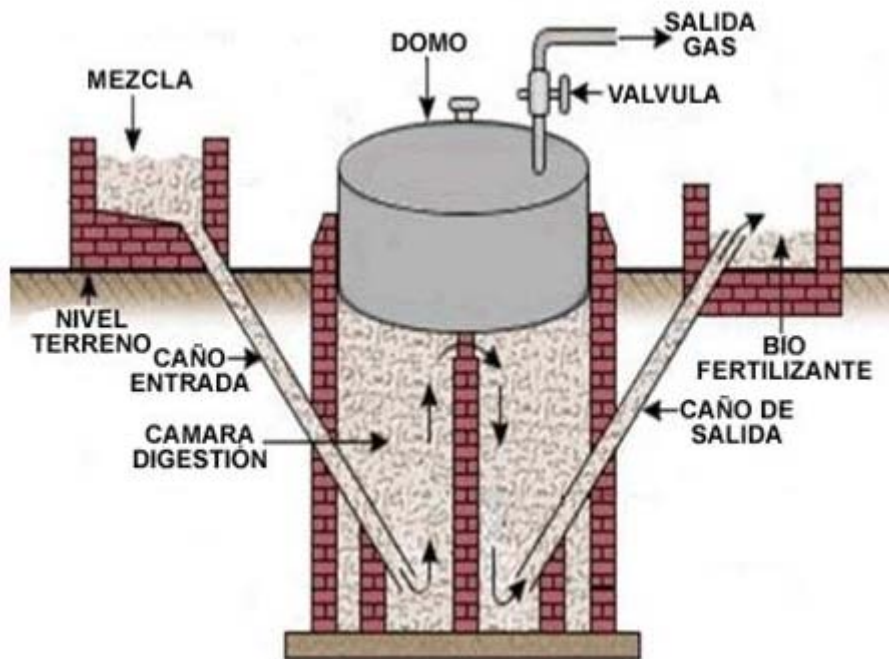


Figura 3. Biodigestor de campana flotante [14].

1.6.3. Biodigestor de campana fija

Este biodigestor conocido comúnmente como tipo chino consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y el fondo son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. Se guarda

el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en la cúpula entre 1 y 1.5 m de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo [14].

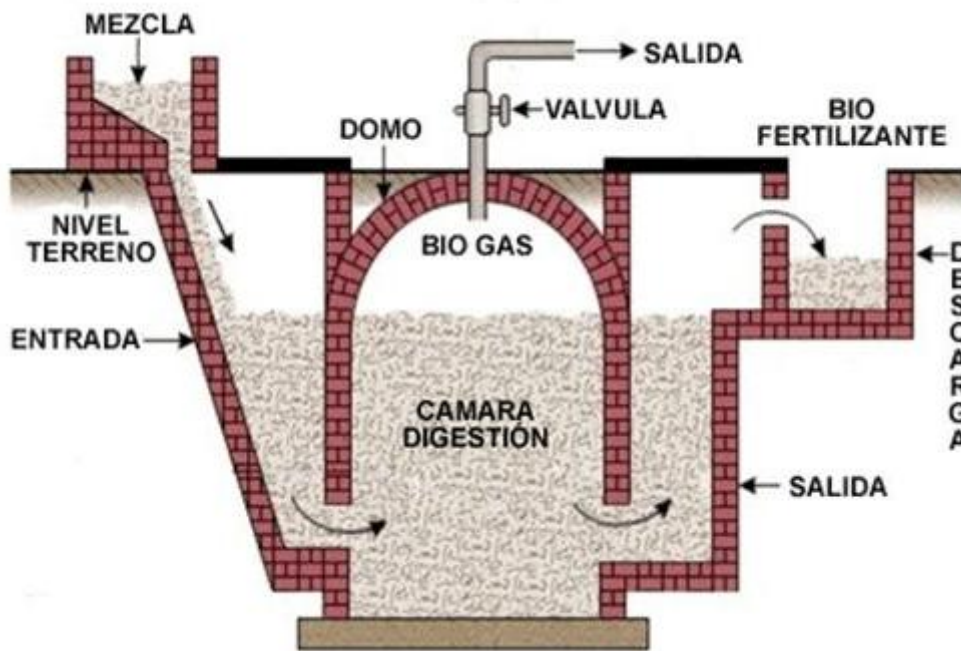


Figura 4. Biodigestor de campana fija [14].

1.6.4. Biodigestor de plástico tubular

Este tipo de biodigestor también conocido como tipo salchicha es uno de los más económicos ya que se construye en plástico. Está formado por una bolsa doble de polietileno, una válvula de salida y una válvula de seguridad. Dentro de la bolsa se fermentan excrementos, dando como resultado la producción del biogás. Este tipo de biodigestor puede ser alimentado con excremento de vacas, cerdos, caballos, cabras e incluso excrementos humanos, mas no con excremento de animales que contengan una alta cantidad de amoníaco como lo es la excreta de aves ya que disminuiría sustancialmente su vida útil [5].

En este biodigestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa parcialmente llena con biomasa en fermentación, la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja dada por la cantidad de gas que

se va produciendo. También hay que tener en cuenta que esta presión no se exceda de los límites permitidos por el material que están alrededor de las 70 libras ya que se podría romper y perdería su funcionalidad.

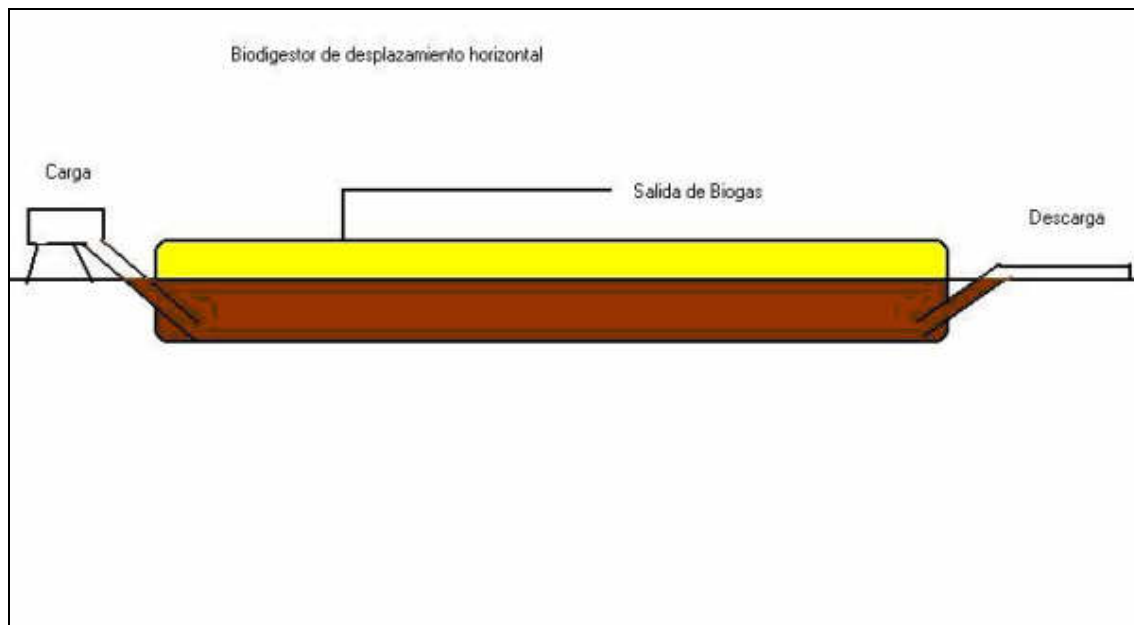


Figura 5. Biodigestor de plástico de bajo costo [2].

1.6.5. Biodigestor flotante

Este tipo de biodigestor se construye de polietileno lo cual le permite flotar en cualquier superficie de agua, con la mitad sumergida y su boca o zona de carga localizada sobre el nivel de agua más alto.

Su principio de funcionamiento es muy similar al biodigestor de plástico tubular ya que solamente se diferencian en el tipo de material utilizado, de aquí que para efectos de forma se puede observar la figura 5. También cabe decir que la presión dentro del biodigestor depende de la cantidad de biogás producido y no debe exceder el límite del material que oscila alrededor de las 70 libras [2].

1.6.6. Digestores de alta velocidad o flujo inducido

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi-industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado, de aquí que su estructura básica es como la que se observa en la figura 3 [14].

Se les conoce comúnmente como CSTD por su sigla en inglés (Conventional Stirred Digestor). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días [14].

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad [5].

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos [5].

1.6.7. Biodigestor tipo industrial

Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.

Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón [14].

Por otra parte este es el tipo de biodigestor utilizado para el uso de biomasa con altas cantidades de corrosivos como es el caso de la pollinaza que presenta un alto grado de composición de amoníaco que podría llegar a ser perjudicial en la vida útil de otros tipos de biodigestores como los descritos anteriormente.

Como se puede observar en la figura 6, este sistema presenta una piscina para el almacenamiento de los fertilizantes que son el residuo del proceso que se lleva a cabo dentro del biodigestor y que puede ser utilizado como fertilizante para diferentes actividades agrícolas. A su vez tiene una caja en la cual se realizan las mezclas que son vertidas a través de una tubería en PVC al interior del biodigestor para realizar la fermentación anaerobia y producir el biogás.



Figura 6. Biodigestor tipo industrial [18].

2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE POLLINAZA

2.1. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA POLLINAZA

La producción de biogás se hace a través de un proceso anaeróbico de fermentación o digestión. En este proceso intervienen algunos factores como las características de la biomasa y la acción metabólica de los organismos microbiales para producir combustibles líquidos y gaseosos [8]. El proceso para producir metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de otros compuestos, a partir de los materiales orgánicos en fermentación, se cumple mediante una serie de complejas reacciones bioquímicas y diferentes bacterias las cuales se describieron en la tabla 4.

Ahora, para la generación del biogás a partir de pollinaza, que se compone de excreta de pollo y cascarilla de arroz de la siguiente manera: cada 1 kg de pollinaza se compone de 0,2 kg de excreta y 0,8 kg de cascarilla de arroz, se hace necesario una alimentación al biodigestor de 12 litros de agua por cada 1kg de pollinaza manteniendo un pH entre 6,6 y 7,6. De esta manera se logra una producción de biogás de 0.049 m³ de biogás por cada 1kg de materia prima [18]. La descripción de este proceso se complementa en el capítulo III.

También hay que tener en cuenta que debido a las altas concentraciones de amoníaco existentes en la pollinaza se hace de vital importancia utilizar materiales óptimos en la construcción de los elementos del sistema para el autoabastecimiento de energía eléctrica para evitar la corrosión generada por dicho compuesto, de aquí que el biodigestor a utilizar con este tipo de excreta sea el biodigestor industrial que se describió en el capítulo anterior y que se puede observar en la figura 6.

El biogás como combustible contiene principalmente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y otros gases como se observa en la tabla 2. El contenido de metano del biogás suele ser alrededor de 60%. Debido a su poder calorífico, el biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina o el combustible diesel en motores de combustión interna, para alimentar turbinas de gas o para alimentar celdas de combustible, en donde las dos primeras acopladas a generadores eléctricos producen potencia eléctrica.

De aquí, que a continuación se estudie el proceso de generación de energía eléctrica para cada una de las 3 alternativas nombradas anteriormente.

2.2. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

El metano contenido en el biogás, es el combustible ideal para el motor de combustión interna. Su contenido calórico es elevado, alcanzando un valor térmico sobre 8.260 kilocalorías por metro cúbico. Además presenta una característica importante para su uso en motores de combustión interna: puede soportar altas compresiones sin detonar. Con el uso del biogás puede alcanzarse así, en la práctica, la potencia del motor que corresponde a su volumen [9].

Debido a su poder calorífico, el biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina o el diesel en motores de combustión interna siempre y cuando estos hayan sido previamente modificados para este uso. Dicha modificación consiste en elaborar una pieza de PVC y tubo o manguera, con un regulador de gas que comunique directamente el alimentador de biogás con las válvulas de admisión de los cilindros del motor como se observa en la figura 7.

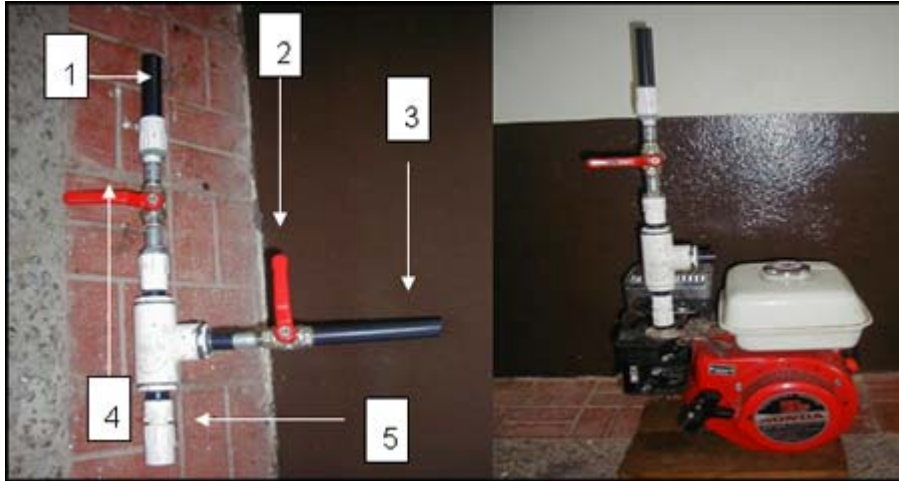


Figura 7. Pieza para adaptar un motor de gasolina al uso de biogás [2].

Donde:

- 1) Tubo de entrada de biogás.
- 2) Válvula de admisión de aire.
- 3) Tubo de entrada de aire.
- 4) Válvula de admisión de biogás.
- 5) Entrada al motor de la mezcla aire-biogás.

El funcionamiento del motor de combustión interna consiste en alimentar con biogás y aire las válvulas de admisión de los cilindros del motor en donde se lleva a cabo el proceso de transformación a energía mecánica como se ilustra en la figura 8, en donde se explican los 4 tiempos en los que se produce el movimiento rotativo del eje del motor a partir de una mezcla de combustible formada por biogás y aire, los cuales se definen a continuación.

- 1) Admisión: El pistón baja en el momento en que la válvula de admisión se abre, permitiendo el ingreso de la mezcla aire/gas.
- 2) Compresión: El pistón sube comprimiendo la mezcla aire/gas, las dos válvulas están cerradas.
- 3) Explosión: El pistón llega al máximo de su recorrido, la bujía entrega la chispa, se produce la explosión y el pistón es impulsado hacia abajo.
- 4) Escape: El pistón sube nuevamente, pero esta vez la válvula de escape se encuentra abierta permitiendo la salida de los gases quemados.

La mezcla que alimenta al motor debe estar compuesta por una relación de 14,7 partículas de aire por 1 partícula de gas (a lo que se denomina mezcla equilibrada) [27]. Esta mezcla alcanza una relación de compresión de 9:1, que va a ser activada por la bujía generando una explosión tal que el eje del motor comience a girar convirtiendo la fuerza alterna en fuerza rotativa. También es importante aclarar que solo alrededor del 35% de la energía calórica que se dispone se transforma en movimiento, mientras que el resto se disipa hacia la atmosfera a través de las válvulas de escape [27].

Por otra parte, el motor esta acoplado a un generador sincrónico o asincrónico de rotor cilíndrico cuyo eje gira a la velocidad del eje del motor produciendo potencia eléctrica.

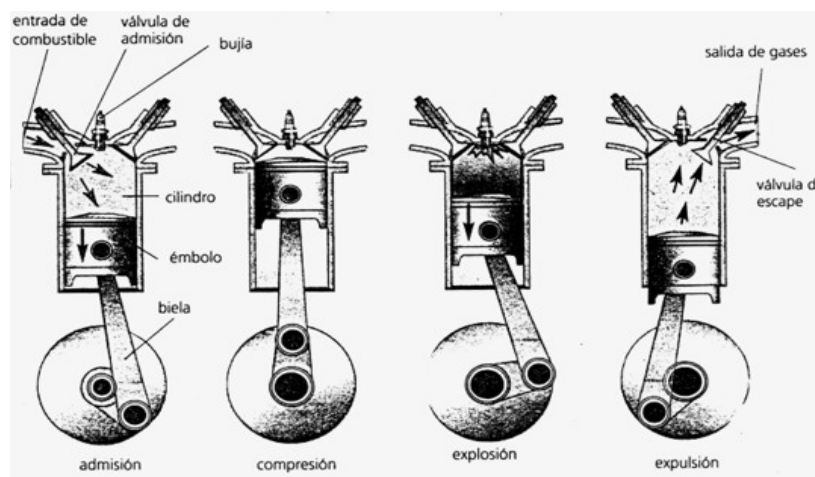


Figura 8. Operación del motor de combustión interna de 4 tiempos [27].

En las zonas rurales o remotas donde no llega el suministro de electricidad es muy práctico acoplar un generador de energía eléctrica a un motor de combustión interna, porque son fáciles de operar, y de instalar [8].

El proceso que se lleva a cabo para generar energía eléctrica a partir de biogás se observa en la siguiente figura.

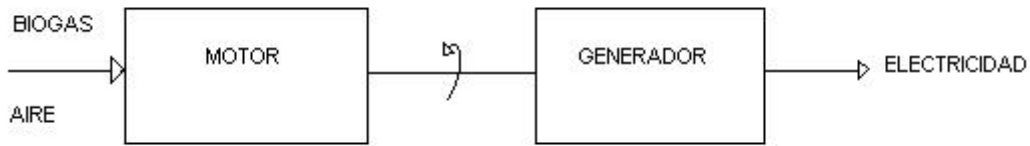


Figura 9. Generación de energía eléctrica con motor de combustión interna [27].

2.3. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA MICRO TURBINA A GAS

Para empezar, es importante aclarar que aunque el principio de funcionamiento de las turbinas y de las micro turbinas a gas es el mismo, para efectos de esta tesis se trabaja con las micro turbinas puesto que son las que se encuentran disponibles comercialmente en el rango de los kW.

La turbina a gas es un motor de combustión interna, es decir, que cuenta con una cámara de combustión que debe ser alimentada por un combustible, en este caso biogás, y aire comprimido para quemar el combustible. Esta combustión genera gases tan potentes que se utilizan para hacer girar una turbina que esta acoplada a un generador de electricidad. Y es porque la turbina es impulsada por el gas de combustión generado en la cámara, que esta se llama turbina a gas [28].

Esta máquina opera en base al principio del ciclo Brayton, en donde aire comprimido es mezclado con combustible y quemado bajo condiciones de presión constante. Al gas caliente producido por la combustión se le permite expandirse a través de la turbina y hacerla girar para llevar a cabo trabajo [28].

A continuación se describe este principio:

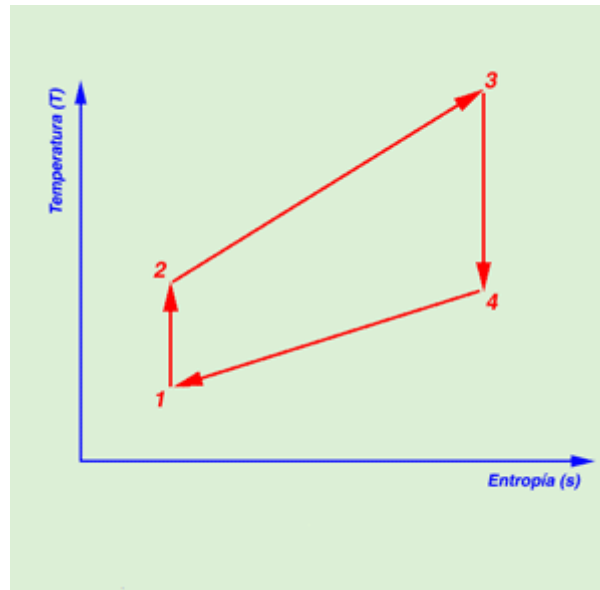


Figura 10. Ciclo de Brayton [28].

Donde:

1-2. Compresión isentrópica en un compresor.

2-3. Adición de calor al fluido de trabajo a presión constante en un intercambiador de calor o una cámara de combustión.

3-4. Expansión isentrópica en una turbina.

4-1. Remoción de calor del fluido de trabajo a presión constante en un intercambiador de calor o en la atmósfera.

Este sistema que se puede observar en la siguiente figura aprovecha solo el 30% del calor generado por el combustible, quedando el 70% de energía libre a través de sus gases de escape eliminados a la atmósfera a una temperatura entre 450 y 600°C.

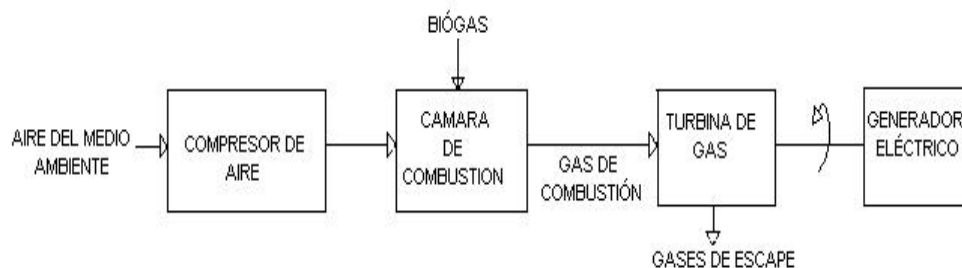


Figura 11. Generación de energía eléctrica con turbina de gas [28].

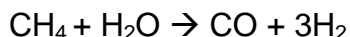
2.4. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA CELDA DE COMBUSTIBLE

En principio una celda de combustible opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni se recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea combustible. El único subproducto que se genera es agua 100% pura.

Hay que tener en cuenta que las celdas de combustible funcionan en base a hidrógeno, por esto, para alimentar dichas celdas a partir de biogás, se necesita la conversión del biogás a hidrógeno. Los métodos más utilizados para este fin son [29]:

1) Reformado con vapor de agua (WSR):

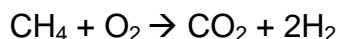
Es el método más utilizado para el reformado de biogás. Consiste en la ruptura de la molécula de metano con vapor de agua, en presencia de un catalizador. La reacción del proceso está dada por la ecuación:



El proceso es endotérmico y se necesitan temperaturas alrededor de los 1200 °K y presiones bajas (30-40 bares), cabe decir que los catalizadores más efectivos son los compuestos de níquel [29].

2) Reformado por oxidación parcial (POX):

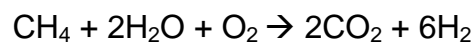
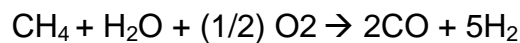
En este método de reformado, el biogás se hace reaccionar, bajo atmósfera controlada con el oxígeno de aire, para producir dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrógeno. Las reacciones para este reformado se presentan en la ecuación:



Este proceso es exotérmico. Los catalizadores más utilizados poseen óxido de níquel o cobre, con contenidos pequeños de metales nobles (Ej. NiO/ZrO₂) [29].

3) Reformado autotérmico:

La reforma autotérmica es la combinación del método reformado con vapor y del método de oxidación parcial. Estos sistemas pueden ser muy productivos, aparte de rápidos y compactos, ya que la reacción de oxidación parcial exotérmica puede suministrar el calor necesario para el reformado con vapor de agua. Las reacciones que se producen en este proceso son:



Las condiciones operativas, empleando un catalizador de níquel, son: presión entre 20 y 30_{atm} y T° entre 800 y 1000°C.

Una vez realizada la conversión de biogás a hidrógeno se puede proseguir a alimentar la celda de combustible.

Una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrolito en donde el oxígeno pasa sobre un electrodo y el hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto, ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el electrodo a través del electrolito, mientras que, el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil como se observa en la figura 12.

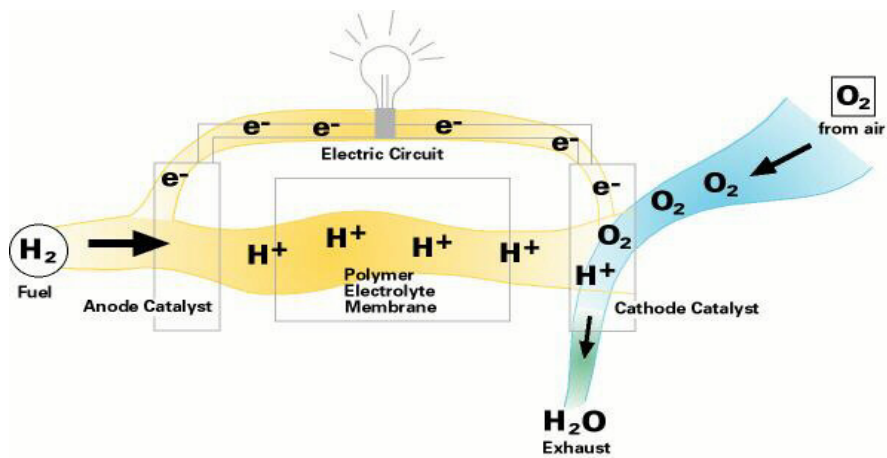


Figura 12. Funcionamiento de la celda de combustible [30].

A continuación se presenta una tabla comparativa entre las 4 tecnologías de celdas de combustible que se encuentran disponibles comercialmente, que son PEMFC, PAFC, MCFC y SOFC.

1) PEMFC:

Celda de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico.

2) PAFC:

Celda de Combustible de Ácido Fosfórico.

3) MCFC:

Celda de Combustible de Carbonatos Fundidos.

4) SOFC:

Celda de Combustible de Óxido Sólido.

Tabla 6. Tabla comparativa entre los diferentes tipos de celdas de combustible disponibles comercialmente [29].

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Combustible	H ₂ (puro o reformado)	H ₂ Reformado	H ₂ y CO combustible reformado directo/indirecto	H ₂ y CO combustible reformado directo/indirecto
Temperatura de operación (°C)	50-90 Proyectado hasta 130	180-200	600-700	800-1000
Electrolito	Polímeros de ácido sulfónico fluoratado	85-100% H ₃ PO ₄	38% Li ₂ CO ₃ /62% K ₂ CO ₃ 50% Li ₂ CO ₃ /50% NaCO ₃	88% ZrO ₂ /12%Y ₂ O ₃
Ion	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Electrocatalizador	Pt en C (~0.2-0.4)	Ánodo: Pt(0.25) Cátodo: Pt-Co-Cr (0.4)	Ni/LiNiO _x	Ni/Sr dopado con LaMnO ₃
Placa bipolar	Carbón grafito	Carbón grafito	Óxido metálico recubiertos de acero inoxidable	Mg-dopado con lantano cromita
Eficiencia (%)	40-55	40-50	50-60	50-65
Densidad de potencia (W/cm ²) por celda	0.7	0.2	0.12	Tubular: 0.25-0.30 Planar: 8.0-8.2
Potencia (kW)	0.01-250	40-200	100-250	Tubular: 100 Planar: hasta 1
Cogeneración	Electricidad/calefacción y calentamiento de agua por encima de 5kW	Electricidad/calefacción y calentamiento de agua	Electricidad/ alto grado de calor para plantas químicas o para sistemas híbridos con turbinas a vapor	Electricidad/alto grado de calor para sistemas híbridos con turbinas a vapor
Envenenamiento	Ánodo: CO>10ppm Electrolito: cationes mono y divalentes	CO > 1% H ₂ S >1 ppm	H ₂ S>0.5 ppm	H ₂ S>1 ppm

Luego de describir cada una de las tecnologías para la generación de energía eléctrica a partir de biogás se realiza una tabla comparativa entre las alternativas para analizar cuál de ellas es más factible en términos de costos y rendimiento para las industrias del sector avícola.

Tabla 7. Tabla comparativa de costos entre las tecnologías [11] [26].

TECNOLOGÍA	INVERSIÓN (\$/kW instalado)	RENDIMIENTO (%)	T° DE SALIDA DE GASES (°C)
Motor de combustión interna (Motor gasolina y motor diesel)	1 500 000 y 2 200 000	35 – 45	320 – 425
Micro turbina de gas	1 800 000	25 – 32	450 – 600
Celda de combustible	8 000 000 – 10 000 000	40 – 65	No aplica

En la tabla anterior se puede observar la gran diferencia de costos relacionadas con el monto de inversión necesaria para implementar una planta con micro turbina de gas, motor de combustión interna y con celdas de combustible. De aquí se puede decir que la generación de energía eléctrica a partir de pollinaza en base a celdas de combustible, aunque presenta un mayor rendimiento (entre el 40 y el 65%) resulta no atractiva económicamente para una empresa del sector avícola puesto que se necesitaría de una gran inversión para una actividad indirecta o secundaria, lo cual no es esencial para su negocio.

También es importante aclarar que la diferencia de costos de inversión entre un motor de gasolina y un motor diesel se da puesto que la modificación del segundo requiere de mayor inversión ya que no cuenta con la bujía que genera la chispa dentro del cilindro de los motores, lo cual conlleva a mayores modificaciones.

Por otra parte, los motores de combustión interna presentan un mayor rendimiento que las micro turbinas a gas, los costos de inversión son notablemente más económicos y también tienen la ventaja de no necesitar un compresor de aire, puesto que estos motores trabajan por aspersion natural, lo que significa, que el gas es inyectado a los cilindros por simple presión atmosférica.

Por otra parte, si se mira la temperatura de salida de los gases, se puede observar que la cantidad de energía térmica que se puede aprovechar de los gases de combustión es mayor en las micro turbinas de gas que en los motores de combustión interna, lo cual resultaría una opción atractiva en el caso que se deseara implementar un sistema de cogeneración (energía eléctrica y térmica al mismo tiempo), tema que no se trata en este proyecto.

Ahora, teniendo en cuenta los factores descritos en los párrafos anteriores, a continuación se realiza una propuesta de generación de energía eléctrica para una granja tipo del sector avícola utilizando el motor de combustión interna, puesto que es la tecnología que ofrece menores costos y mayor rendimiento.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

A continuación se plantea una metodología para la generación de energía eléctrica mediante el motor de combustión interna para el autoabastecimiento de las granjas avícolas.

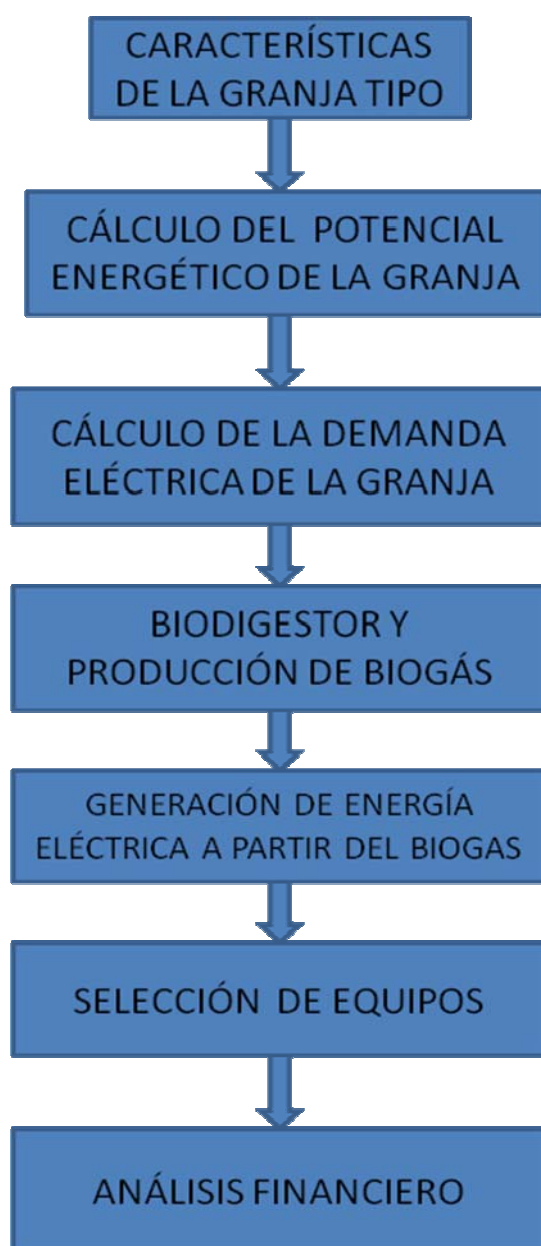


Figura 13. Metodología propuesta.

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA GRANJA TIPO

Como primera medida es necesario definir las características de la granja tipo en la cual se desea implementar el sistema, dichas características son:

3.1.1. Capacidad máxima de almacenamiento

Determinar la cantidad máxima de aves que se podrían almacenar en la granja.

Como ejemplo se tomó una granja tipo con una capacidad máxima de almacenamiento de 25000 pollos de engorde.

3.1.2. Encerramiento de aves

Es necesario mantener los animales en galpones para de esta manera facilitar la recolección de la materia prima puesto que si esto no se realiza se incrementarían los costos de transporte hacia el sitio en donde se encuentra el biodigestor. Este encerramiento se hace teniendo en cuenta que por cada 1m² se pueden almacenar 10 pollos [23].

Entonces, si se desean almacenar 25000 pollos se debe contar con uno o varios galpones que sumen 2500m².

3.1.3. Ciclo de almacenamiento y cantidad de pollinaza producida por pollo

La duración de los pollos en los galpones oscila entre 38 y 40 días, lo cual corresponde a un ciclo y cada pollo produce 1.6 kg de excreta por ciclo, lo que corresponde a 9.6 kg/año [23].

3.1.4. Tiempo de recolección de la pollinaza

La recolección de la pollinaza se puede llevar a cabo por ciclos, que para una granja de 25000 pollos equivale a 40000 Kg de materia prima cada 40 días aproximadamente. Aunque también es posible recoger cada dos semanas la cantidad necesaria para mantener la producción de biogás que permita el trabajo continuo del grupo electrógeno, que equivaldría a recoger 4500 Kg cada 15 días aproximadamente (mirar sección 3.4.2) , siendo esta, la opción más viable teniendo en cuenta que se necesitaría de una piscina más pequeña

para el almacenamiento de la materia prima cerca de la zona de alimentación del biodigestor, lo cual sería un costo menor que construir una piscina con capacidad de 40000 Kg.

Ahora, puesto que para el autoabastecimiento eléctrico de la granja no es necesario el consumo de toda la pollinaza que se produce, el excedente se podrá utilizar como alimento de ganado o para cualquier otra aplicación agrícola que se disponga; por su parte, los residuos que quedan en el biodigestor después del proceso de fermentación pueden ser utilizados para realizar riegos a cultivos o también como abono para las tierras.

3.2. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA GRANJA

Partiendo de que con 1 Kg de pollinaza en base a cascarilla de arroz se producen 0,049 m³ de biogás y que 1m³ de tal gas equivale a aproximadamente 2 kWh de energía eléctrica se puede determinar el potencial energético con el cual cuenta la granja [18], el cual, para una granja con una capacidad máxima de 25000 pollos sería de 98 kWh/día que corresponde a 49 m³ de biogás por día.

3.3. CÁLCULO DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA GRANJA

El cálculo de la demanda máxima en el diseño de instalaciones eléctricas internas para viviendas unifamiliares o multifamiliares, se puede realizar de acuerdo a los parámetros establecidos por el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) como se describe a continuación.

3.3.1. Factores de demanda

Se utilizará un factor de demanda del 100% para la carga del aparato de mayor potencia y el resto al 40% [31].

3.3.2. Factores de diversidad

El factor de diversidad se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$F_{div_res} = \frac{1}{0.2 + 0.8 * e^{\frac{1-N}{6}}}$$

Donde N es el número de usuarios [31].

3.3.3. Demanda máxima

Como requerimiento para determinar la capacidad del grupo electrógeno, se recomiendan los siguientes pasos para calcular la carga por usuario, de acuerdo a lo permitido por el artículo 220-37 del Código Eléctrico Colombiano, NTC 2050 [24].

Carga mínima instalada (SI) por usuario [31]:

- 32VA/m² para cargas de alumbrado general.
- Carga mínima para lavadora y plancha: 1500 VA.
- Carga mínima para uno o más circuitos de pequeños aparatos: 1500 VA por circuito.

Demanda máxima total [31]:

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{S_R}{F_{div_res}} + S_{ACR} + \frac{S_C}{F_{div_com}} + S_{ACC}$$

Donde:

S_R: Carga demandada sector residencial.

$$S_R = [S_M + (S_I - S_M) * F_d] * N$$

S_M: Carga aparato de mayor potencia.

S_I: Carga mínima instalada por usuario.

S_{ACR}: Carga de áreas comunes sector residencial.

N: Número de usuarios.

F_d: Factor de demanda.

F_{div_res} : Factor de diversidad residencial.

S_c : Carga demandada de sector comercial.

S_{ACC} : Carga de áreas comunes sector comercial.

F_{div_com} : Factor de diversidad sector comercial.

En caso de que se pueda recurrir a la medición de la corriente eléctrica en la acometida de la granja, se podrá utilizar esta medición para calcular la demanda máxima de la granja, el cual fue el caso que se presentó para la granja tipo, en donde se pudo realizar la medición de la corriente eléctrica en la acometida ($I_{acometida}$) en la hora pico que se estableció en las 11:30 a.m. La corriente medida fue de alrededor de $I_{acometida} = 12A$, que corresponde a la demanda máxima de la granja tipo. También, a continuación en la tabla 8 se observan los datos correspondientes a consumos y valores en pesos de la energía eléctrica de la granja tipo lo cual da como resultado un consumo promedio de 800 kWh/mes y un consumo diario de 26,7 kWh.

Tabla 8. Consumo de energía eléctrica de la granja tipo año 2008 [23].

Mes	kWh/mes	Valor de la energía en pesos
Enero	770	250250
Febrero	740	240500
Marzo	805	261625
Abril	826	268450
Mayo	790	256750
Junio	810	263250
Julio	815	264875
Agosto	824	267800
Septiembre	820	266500

3.4. BIODIGESTOR Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Como ya se explicó antes, el biodigestor que se necesita para el tratamiento de excreta de aves es el de tipo industrial que se elabora en geomembrana debido al alto contenido de amoníaco existente en la pollinaza la cual podría perjudicar las paredes de otros tipos de digestores como los artesanos acortando de una manera significativa su vida útil que oscila entre 30 y 35 años.

3.4.1. Capacidad del biodigestor

De acuerdo con las características de la granja, y con base en los datos dados en la tabla 3 sobre equivalencias entre biogás y energía eléctrica, y partiendo de que con 1 kg de pollinaza con cascarilla de arroz se producen 0,049 m³ de biogás [18] se calcula la capacidad total que debe tener el biodigestor tipo industrial para suplir la cantidad de biogás demandado por el grupo electrógeno.

Teniendo en cuenta que la demanda eléctrica de la granja de 25000 pollos se calculó en aproximadamente 26 kWh, se puede decir que para la alimentación diaria del grupo electrógeno es necesario contar con un biodigestor con una capacidad mínima de 13 m³, por lo cual se optó por seleccionar un biodigestor de 15 m³, lo cual equivale a una longitud de 6 m y una profundidad de 1,2 m que va a servir para mantener los niveles de biogás demandados por el grupo electrógeno.

El biodigestor tipo industrial que se va a implementar se puede observar en la figura 6.

En el anexo B se puede da una descripción más detallada del biodigestor que se va a utilizar.

3.4.2. Alimentación del biodigestor

Una vez que la pollinaza ha sido recolectada se procede a realizar una mezcla que consta de: agua y pollinaza en la siguiente proporción: por cada kg de

pollinaza, 12 litros de agua [11]. Luego, manteniendo un pH de entre 6,6 y 7,6 de la mezcla, esta se vierte en el biodigestor industrial.

Ahora, teniendo en cuenta la demanda eléctrica de la granja y con base en los datos dados en la tabla 3 y partiendo de que con 1 kg de pollinaza en base a cascarilla de arroz se producen 0,049 m³ de biogás [18] se calcula la cantidad de pollinaza diaria con la que se debe contar para mantener la producción de biogás que necesita el grupo electrógeno para su operación.

Partiendo de que el consumo eléctrico diario de la granja tipo es de aproximadamente 26 kWh, se determinó un consumo de 265,30 kg de pollinaza diaria. También es importante tener en cuenta un almacenamiento de aproximadamente 35 kg de pollinaza diarios para posibles eventualidades o para abastecer el biodigestor y por ende el grupo electrógeno en situaciones de demanda pico.

3.4.3. Generación del biogás

Luego de que la mezcla es vertida en el biodigestor por primera vez, hay que esperar un lapso de alrededor de 50 días, que es el tiempo aproximado que toma el proceso de digestión anaerobia, que se divide en 3 etapas, que son: Hidrólisis, acetogénesis o formación de ácidos y metanogénesis o formación de metano, las cuales se describieron en la sección 1.4 y en la tabla 4.

3.5. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL BIOGÁS

Una vez que el gas está siendo producido a una razón de 0,049 m³ de biogás por cada 1 Kg de pollinaza y con un contenido de metano entre 60 y 70% que es el compuesto que realmente se combustiona dentro del motor, es conducido por unos ductos hechos de PVC hacia unas bolsas reservorios construidas con el mismo material. De aquí, el gas es transportado hacia las válvulas de alimentación del motor de combustión interna por presión atmosférica. Hay que tener en cuenta que como la mezcla va a ser utilizada como combustible en motores de combustión interna debe purificarse eliminando algunos componentes que resultarían perjudiciales en el proceso como se explicó

anteriormente [5]. El contenido de H_2S se elimina ubicando esponjillas de alambre a lo largo del tubo que conduce el biogás desde las bolsas reservorio hasta la zona de mezcla entre biogás-aire, alcanzando una efectividad de 95% de eliminación del H_2S , mientras que la humedad se elimina ubicando trampas de cloruro de calcio a través del tubo por el cual se transporta el biogás desde el biodigestor hasta las bolsas reservorio.

Ahora, la mezcla que alimenta al motor debe estar compuesta por una relación de 14,7 partículas de aire por 1 partícula de gas (a lo que se denomina mezcla equilibrada) [27]. Esta mezcla alcanza una relación de compresión de 9:1, que va a ser activada por la bujía generando una explosión tal que el motor alcance su velocidad nominal convirtiendo la fuerza alterna en fuerza rotativa.

Por otra parte, el motor esta acoplado a un generador eléctrico cuyo eje gira a la velocidad del eje del motor produciendo la potencia eléctrica requerida por la granja.

En síntesis, el proceso se puede observar gráficamente en la siguiente ilustración:



Figura 14. Proceso de generación de energía eléctrica a partir de pollinaza.

Ahora se determinará y analizará cada uno de los elementos que formarán parte del sistema integrado de generación de energía eléctrica.

3.6. SELECCIÓN DE EQUIPOS

Partiendo de las características de la granja tipo dadas anteriormente se realiza la selección correspondiente de los equipos que se usarán en la implementación del sistema integrado. Dichos equipos y sus valores se describen a continuación:

3.6.1. Biodigestor

La selección del biodigestor se realiza como se explicó en la sección 3.4.

3.6.2. Kits de bolsas reservorio

Debido a que el grupo electrógeno debe estar en funcionamiento continuamente para suplir la energía eléctrica de la granja, es de vital importancia contar con un sistema de almacenamiento de gas, este sistema está constituido por un kit de bolsas reservorio destinadas al almacenamiento de biogás elaboradas en geomembrana de PVC y con una capacidad suficiente para alimentar continuamente el mecanismo de generación de electricidad.

3.6.3. Grupo electrógeno

La selección del grupo electrógeno se realiza a partir de la demanda eléctrica de la granja tipo, como se describe a continuación para la granja tipo descrita anteriormente.

Partiendo de que la demanda máxima de la granja es de 12A y que tiene máquinas que trabajan a 220 V, se decidió adquirir un equipo de generación trifásica el cual se determinó de la siguiente manera:

Se determinó la potencia aparente en KVA tomando un factor de potencia de 0.8 y un rendimiento del 80%, datos que fueron suministrados por el fabricante

del equipo. En base a esto se procedió a realizar la selección del grupo electrógeno⁵ de la siguiente manera:

$$I = \frac{P_s}{\sqrt{3} * V * \eta * \cos \theta}$$

En donde: I = I_{acometida} (A)

P_s = Potencia de salida (kW)

V = Tensión de línea (V)

cos θ = Factor de potencia

η = Rendimiento

Teniendo que la corriente medida fue de alrededor de I_{acometida}= 12 A, se obtuvo que la potencia de salida necesaria para suplir esta demanda fue de P_s= 3 kW.

Ahora teniendo que el rendimiento del equipo es del 80% y que:

$$N = \frac{P_s}{P_e}$$

En donde: N = Rendimiento del equipo

P_s= Potencia de salida

P_e= Potencia de entrada

Se determinó que la potencia de entrada al generador del equipo es de 4 kW. Con base en este valor se buscó un grupo electrógeno que cumpliera con esta característica y que estuviera disponible comercialmente, puesto que este no se encontró, se seleccionó un grupo electrógeno de 5,5 kW que se describe a

⁵ El inversionista podrá seleccionar el grupo electrógeno que desee siempre y cuando cumpla con las especificaciones descritas y tenga la capacidad para suplir la demanda eléctrica requerida por la granja tipo.

continuación, y que se seleccionó en base a los costos y características de varios equipos cotizados que se muestran en el anexo C.

Características:

- Generador Benasque 5500 W 230 V.
- Tipo alternador síncrono, escobillas y regulador.
- Modelo alternador 5GA400.
- Frecuencia 50 o 60 Hz.
- Potencia máxima AC 5500 W.
- Potencia nominal AC 5000 W.
- Tipo motor 4 tiempos.
- Arranque manual / eléctrico.
- Dimensiones 75cm* 59cm* 60cm.
- Peso 103 Kg.



Figura 15. Grupo electrógeno Benasque.

Cabe anotar que este grupo electrógeno es de aspiración natural, osea que no necesita de una gran presión del gas para su funcionamiento ya que por sí mismo succiona el gas, de aquí que tan solo con la presión propia del gas producido (presión atmosférica) pueda ser alimentado, lo cual conlleva al ahorro del gasto del compresor para aumentar la presión del biogás.

Por otra parte es de igual importancia determinar la viabilidad económica de la inversión para la generación de energía eléctrica para el autoabastecimiento de la granja, de aquí, que a continuación se procesa a realizar el análisis financiero.

3.7. ANÁLISIS FINANCIERO

En el análisis financiero se identificarán los elementos necesarios para la estructuración financiera cuyo resultado sumado a los estudios previos darán la base para analizar la conveniencia o inconveniencia de la propuesta, este análisis se realizará a 20 años lo cual corresponde a la vida útil del proyecto.

3.7.1. IDENTIFICACIÓN DE INVERSIONES

Las inversiones para el inicio del proyecto son fijas, diferidas y de capital de trabajo.

Tabla 9. Presupuesto de inversiones.

PRESUPUESTO DE INVERSIONES AÑO 0	
1. INVERSIONES FIJAS	
1.1. DEPRECIABLES	
MAQUINARIA Y EQUIPO	VALOR
Grupo Electrogenero	\$ 4.500.000
Biodigestor	\$ 10.000.000
Kit de bolsas reservorio	\$ 200.000
TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO	\$ 14.700.000
2. INVERSIONES DIFERIDAS	
2.1. GASTOS DE MONTAJE DE SISTEMA	\$ 1.800.000
2.2. GASTOS DE CAPACITACION	\$ 1.000.000
TOTAL INVERSIONES DIFERIDAS	\$ 2.800.000
3. CAPITAL DE TRABAJO	
3.1. CONSUMO ENERGIA	\$ 520.000
TOTAL INVERSIONES DIFERIDAS	\$ 520.000
FLUJO DE INVERSION	\$ 18.020.000

3.7.1.1. Inversiones fijas

Corresponden a los bienes tangibles que garantizan la operación del proyecto.

Las inversiones fijas son las requeridas para iniciar con el proyecto y están determinadas en maquinaria y equipo. Las cuales son parte inicial de los activos fijos. El monto total es de \$14.700.000.

La maquinaria y equipo es un bien despreciable por su uso y obsolescencia. El costo por la depreciación se contemplara en el análisis de costos.

3.7.1.2. Inversiones diferidas

Las inversiones diferidas se contemplan cuando se realizan compras de servicios necesarios para la puesta en marcha del proyecto, que en el caso particular se refieren al montaje del sistema y capacitación para la utilización.

El monto total de las inversiones diferidas corresponde a \$2.800.000.

3.7.1.3. Capital de trabajo

Corresponde al capital que se requiere para la operación normal del proyecto y se encuentra contemplado en el consumo de energía eléctrica durante los primeros dos meses a partir del momento en que se alimenta el sistema de generación eléctrica por primera vez, que corresponde a un monto total de \$520.000.

3.7.2. Identificación de costos y gastos

Durante la operación se contemplan los siguientes costos: costos fijos y directos como son los de operación y mantenimiento.

Los costos y gastos se estiman de manera mensual para su posterior proyección en términos anuales.

Tabla 10. Costos y gastos mensuales de operación.

COSTOS Y GASTOS MENSUALES DE OPERACIÓN	
1. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
1.1. COSTOS DIRECTOS	
Costos de mantenimiento	33.333
Depreciacion Maquinaria y Equipo	122.500
Mano de obra directa	61.250
seguro maquinaria	14.700
TOTAL	\$ 231.783

3.7.2.1. Costos fijos

- Personal: se contemplarán \$61.250 como parte de jornal de un operario directo. El incremento a contemplar a partir del segundo año es del 6%.
- Mantenimiento: el costo de mantenimiento y operación es de \$100.000 trimestrales con un incremento anual del 10%.
- Depreciación. La vida útil es diferente en cada activo, depende de la naturaleza del mismo. Pero por simplicidad y estandarización, la legislación Colombiana, ha establecido la vida útil a los diferentes activos clasificándolos de la siguiente manera, según el decreto 3019 de 1989:
 - Inmuebles (incluidos los oleoductos) 20 años.
 - Barcos, trenes, aviones, maquinaria, equipo y bienes muebles 10 años.
 - Vehículos automotores y computadores 5 años.Por lo anterior se tomara una depreciación de 10 años por tratarse de una máquina.
- Seguros: la maquinaria cuenta con un seguro contra todo riesgo.

3.7.3. Ingresos

Los ingresos en el flujo de caja son el ahorro en cuanto al consumo de energía eléctrica se refiere, siendo este el dinero que se ahorrarían con la implementación del sistema.

El consumo promedio mensual de energía eléctrica de la granja es de 800 kWh, el valor de 1 kWh es \$325 pesos para el año 2009 y para los años subsiguientes el valor del kWh se incrementa en un 6% [21].

Por lo tanto los ingresos serán:

Tabla 11. Ingresos mensuales.

INGRESOS MENSUALES	
CONCEPTO DE INGRESO	INGRESO MENSUAL
800 KWHORA Y CONSUMO \$325 COSTO DE 1KWH	
consumo mensual de energia	\$ 260.000
TOTAL	\$ 260.000

3.7.4. Evaluación financiera del proyecto

Para llevar a cabo la evaluación financiera del proyecto se realizó el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN) teniendo en cuenta los ingresos y egresos dados anteriormente, y en base a los resultados obtenidos se procedió a determinar la viabilidad económica del proyecto. Esta se hizo sin crédito (con recursos propios). El estudio se puede observar más detalladamente en el anexo D.

3.7.4.1. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno es el rédito de descuento que iguala el valor actual de los egresos con el valor futuro de los ingresos previstos, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Teniendo en cuenta que la tasa se iguala a la suma de los ingresos actualizados, con la suma de los egresos actualizados, también se puede decir que es la tasa de interés que hace que el VPN del proyecto sea igual a cero.

Tabla 12. TIR.

Tasa Interna de retorno sin credito
12,37%

Como se puede observar en la tabla anterior el proyecto genera una Tasa Interna de Retorno del 12.37% sin crédito.

Para el caso del proyecto, y desde el punto de vista de rentabilidad más no de ingreso monetario neto se podría decir que el proyecto puede ser viable desde su rentabilidad pues presenta un margen por encima al dado para inversiones existentes en el mercado de bajo riesgo.

El efecto de viabilidad financiera desde el punto de vista de la tasa interna de retorno, podría ser medido por un resultado superior a una tasa de oportunidad del 12%.

3.7.4.2. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo, consiste en traer el flujo de caja del proyecto al punto cero y permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. Si es positivo significa que el proyecto es rentable, si es negativo significa que no es rentable y si el resultado es cero, la inversión no modifica los ingresos de la empresa.

Tabla 13. VPN.

Valor Presente neto sin credito
\$ 446.445,33

De la tabla anterior se puede decir que desde el punto de vista de la recuperación de la inversión, para la proyección financiera, la inversión del

proyecto si se recupera en la vida útil del proyecto dando un valor de VPN mayor que cero, lo cual, hace viable el proyecto.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se estableció la factibilidad técnica de generar energía eléctrica a partir de pollinaza teniendo en cuenta que con 1kg de pollinaza se obtienen 0,049 m³ de biogás y que 1 m³ de tal gas equivale a aproximadamente 2 kWh de energía eléctrica.
- Se observó que el biogás producido a partir de la excreta de aves específicamente la pollinaza sirve para la generación de electricidad ya que contiene una alta concentración de gas metano que oscila entre el 60 y el 70% y que puede ser usado para poner en funcionamiento motores de combustión interna.
- Teniendo en cuenta la granja tipo considerada se puede afirmar que con estos niveles de excreta se logra cubrir la totalidad de la demanda de energía eléctrica de dicha granja y además se puede continuar usando la otra parte de pollinaza para diversas aplicaciones agrícolas como la alimentación de ganado o abono.
- Debido a las altas concentraciones de amoníaco existentes en la pollinaza se hace de vital importancia utilizar materiales de buena calidad en la construcción de los elementos del sistema para el autoabastecimiento de energía eléctrica para evitar la corrosión generada por dicho compuesto, de aquí que el biodigestor industrial se deba construir en geomembrana de PVC y que el biogás deba purificarse para eliminar el ácido sulfhídrico mediante alambrinas o esponjillas de alambre antes de ser llevado al motor y así evitar la corrosión y por ende la disminución de la vida útil del grupo electrógeno.

- Se puede decir que en base a la comparación realizada entre las tres tecnologías descritas para la generación de energía eléctrica a partir de pollinaza, la que resultó ser más atractiva fue la del motor de combustión interna por costos y rendimiento.
- Para el caso de la granja tipo, teniendo en cuenta los valores de la TIR, el VPN se puede decir que la inversión total del sistema de generación de energía eléctrica si se recupera durante la vida útil del proyecto estimada en 20 años, convirtiéndolo en un proyecto viable desde el punto de vista financiero.
- Es relevante decir que existen beneficios desde el punto de vista ambiental que hacen que este proyecto se justifique, puesto que son energías que son amigables con el ambiente y que ayudan a minimizar el impacto ambiental y el efecto invernadero.
- Es importante aclarar que debido a que apenas se están realizando los primeros estudios sobre generación de energía eléctrica a partir de pollinaza en Colombia, entonces los valores de inversión y de costos son elevados. Sin embargo, una vez que se haya masificado esta forma alternativa de energía en el país, los costos y la inversión serán más atractivas
- Para las compañías del sector avícola puede resultar interesante implementar un sistema de cogeneración ya que podrían aprovechar la energía térmica para calentar los galpones en los cuales se almacenan los pollos de engorde, por lo cual les resultaría más provechoso invertir en una micro turbina gas.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Murillo, T. Manejo de residuos en la industria avícola, X congreso nacional agronómico, 1996. Costa Rica.www.google.com.

[2] Chará, J; Pedraza, G, 2002. Biodigestores plásticos de flujo continuo; investigación y transferencia en países tropicales. Cali Colombia, Fundación CIPAV, 278p.

[3] Dossier: Biomasa una fuente de energía, Daphnia (boletín informativo sobre la producción de la contaminación y la producción limpia), nº 25, julio 2001.www.google.com.

[4] Aprovechamiento de biomasa y obtención de energía. 22 de julio de 2008. www.zalameaemprende.com.

[5] Botero, R; Thomas, P. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas “Manual para su instalación, operación, y utilización”, edición 1986. CIPAV, Cali Colombia.

[6] A. Pascual Vidal y B. Ruiz Fuertes. “DIGESTION ANAEROBIA DE GALLINAZA”. Ainia Centro tecnológico de Valencia. Benjamín Franklin. Paterna (Valencia). Noviembre de 2004. www.4shared.com.

[7] Preston, B. Manual de energías renovables y recursos energéticos. Edición 1988. www.4shared.com.

[8] Quesada, M; Salas, N. Trabajo de grado “Generación de energía eléctrica a partir de biogás”. Universidad de Costa rica (UCR) Costa Rica, Diciembre de 2006. www.ucr.ac.cr.

[9] FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, CL). Reciclaje de materias orgánicas y biogás 1986. Oficina regional para América Latina y El Caribe. Santiago CL 89p.

[10] Fundación CIPAV, Biodigestor plástico de flujo continuo, Cali Colombia, Agosto 31 de 1995.

[11] Libro “Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos- El caso Perú. www.4shared.com

[12] Textos científicos, usos del biogás.
www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos.

[13] Curso de capacitación de “Reciclaje de materias orgánicas y biogás”: Una experiencia en China (1984, Chengdu, CN). Chengdu China1984.

[14] “Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes. Fundación Hábitat, Quimbaya Quindío, 2 de abril de 2005.

[15] Amado, E. Producción de biogás y carbón activado a partir de camas. Julio 2008. www.4shared.com.

[16] González, J. Curso de instalaciones Ingeniería I, Facultad de Ingeniería y arquitectura Grupos electrógenos, Universidad Nacional.

[17] Gaviria, M; Leal, S; Romero, V. Proyecto “Creación de una empresa que comercialice Kits para generación de electricidad a partir de biogás”. UNAB.

[18] Gaviria, M; Proyecto “Biogás”, Ingeniería en energía. UNAB 2003.

[19] Murillo, T. Alternativas de uso para la gallinaza. XI congreso nacional agronómico 1999. Costa Rica. Archivo PDF.www.google.com.

[20] Estrada, M. Manejo y procesamiento de la gallinaza. Revista Lasallista de investigación VOL 2, No 1. Universidad Lasallista de Colombia.

[21] Electrificadora de Santander ESSA. Departamentos de planeación, comercialización y mercadeo. Manuscrito no editado.

[22] Harper, E. Protección de instalación eléctricas industriales y comerciales. Noriega editores 2da edición. www.rapidshare.com

[23] Entrevista al agrónomo Dr. Sergio Latorre (DISTRAVES S.A).

[24] Norma Técnica Colombiana NTC 2050. ICONTEC.

[25] Fuentes de financiación disponibles en Colombia. Centro Nacional de Producción más Limpia (CNPMLTA). Colombia.

[26] O. Muñoz, Juan Manuel. Celda de combustible: Viabilidad técnica y económica para la planta de tratamiento de aguas servidas de la farfana. Centro de Egresados Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile, Memorias y publicaciones. Junio de 2006. Contacto chirrico@hotmail.com.

[27] Taller virtual de mecánica automotriz, motor de combustión interna de 4 tiempos. www.automecanico.com.

[28] Micro turbinas, una alternativa para la generación de bajas potencias. www.promigas.com/web/images/microt.PDF.

[29] Ruiz, M., López, E. Celdas de combustible a partir de biogás: Caracterización del proceso de generación eléctrica. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia 2008.

[30] http://www.claudio-otero.cl/fuel_cells/.

[31] Electrificadora de Santander S.A. E.S.P Norma para cálculo y diseño de sistemas de distribución. ESSA Santander, Colombia 2005.

ANEXOS

ANEXO A. EXPERIENCIAS CON PLANTAS A BIOGÁS

A. Tonitz Alemania

Esta es una de las plantas de biogás que basa su producción en la excreta de pollos, a continuación se da los datos de la planta [18]:

Tabla 14. Datos técnicos de la planta de Tonitz Alemania.

Cantidad de purines	192 Ton/día
Cantidad de gallinaza o pollinaza	19 Ton/día
Volumen	5080 m ³
Producción de biogás	4900 m ³ /día
Energía eléctrica producida	11600 kWh/día



Figura 16. Planta de generación de energía eléctrica TONITZ Alemania.

B. Eye, Suffolk, Reino Unido

Llevada a cabo por la empresa Fibropower, y materializada por la construcción y operación de la primera planta comercial de generación eléctrica en el mundo utilizando como único combustible la gallinaza, la cual es recolectada de granjas ubicadas en un radio de 50 Km, esta planta inicio sus operaciones en 1992. El mecanismo utilizado por esta planta es generar energía térmica que a su vez produce vapor de agua que mueve un turboalternador mediante el cual

se obtiene la energía eléctrica. A continuación se dan los datos de la planta [19]:

Tabla 15. Datos técnicos de la planta de Eye Suffolk, Reino Unido.

Cantidad de gallinaza y/o pollinaza	130000 Ton/año
Energía eléctrica producida	12.7 MW de electricidad

C. Glanford, Lincolnshire, Reino Unido

Esta es una planta que cuenta con un mejor diseño y una mayor eficiencia que la implementada en Eye, entró en operación en el año 1995, su consumo y capacidad se muestran en la siguiente tabla [19]:

Tabla 16. Datos técnicos de la planta de Glanford, Lincolnshire, Reino Unido.

Cantidad de gallinaza	180000 Ton/año
Energía eléctrica Producida	13.5 MW de electricidad

D. Thetford, Reino Unido

Este sistema entro en funcionamiento en 1998 y es una de las plantas que cuenta con mayor capacidad de generación de energía eléctrica como se observa a continuación [19].

Tabla 17. Datos técnicos de la planta de Thetford, Reino Unido.

Cantidad de gallinaza	400000 Ton/año
Energía eléctrica Producida	38.5 MW de electricidad

ANEXO B. BIODIGESTOR TIPO INDUSTRIAL

MATERIALES DE OBRA

Tabla 18. Materiales de obra.

CANTIDADES DE OBRA PARA BIODIGESTOR TIPO INDUSTRIAL

<i>BIODIGESTOR GASIMETRO</i>				
EXCAVACION	UND	CANT	\$ UNIT	\$ 300.000
HERRAMIENTAS	GL	1	\$ 150.000	\$ 150.000
SEGURIDAD INDUSTRIAL(DOTACION OBREROS)	GL	1	\$ 150.000	\$ 150.000
ESTRUCTURA	UND	CANT	\$ UNIT	\$ 3.244.645
CONCRETO 3500 IMPERMEABILIZADO (MUROS)	M3	3,84	\$ 241.129	\$ 925.936
CONCRETO 3/4 3500 (PLACA PISO)	M3	2,52	\$ 231.628	\$ 583.703
HIERRO 1/2 (L=12M)	VA	53,38	\$ 26.474	\$ 1.413.182
CINTA SIKA	ML	16,00	\$ 20.114	\$ 321.824
			TOTAL	\$ 3.544.645

<i>RESERVORIO BIOFERTILIZANTE</i>				
ESTRUCTURA	UND	CANT	\$ UNIT	\$ 1.469.448
CONCRETO 3500 IMPERMEABILIZADO (MUROS)	M3	1,92	\$ 241.129	\$ 462.968
CONCRETO 3/4 3500 (PLACA PISO)	M3	0,6	\$ 231.628	\$ 138.977
HIERRO 1/2 (L=12M)	VA	26,69	\$ 26.474	\$ 706.591
CINTA SIKA	ML	8,00	\$ 20.114	\$ 160.912
			TOTAL	\$ 1.469.448

<i>CAJA DE DISTRIBUCION</i>				
ESTRUCTURA	UND	CANT	\$ UNIT	\$ 210.794
ARENA	M3	0,5	\$ 15.000	\$ 7.500
CEMENTO	BT	3	\$ 16.000	\$ 48.000
LADRILLO	UND	250,00	\$ 300	\$ 75.000
CONCRETO TAPA	UND	1,00	\$ 27.778	\$ 27.778
TUBERIA PVC 3"	UND	2,00	\$ 26.258	\$ 52.516
			TOTAL	\$ 210.794

MANO DE OBRA

Tabla 19. Mano de obra.

BIODIGESTOR GASIMETRO				
ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	M OBRA	TOTAL
CIMENTACION	UND	CANT	\$/MdO	\$ 465.858
EXCAVACION HR RETRO (PARA 20 M3)	HR	4	\$ 97.323	\$ 389.292
EXCAVACION A MANO	M3	4,5	\$ 9.118	\$ 41.031
RETIRO TIERRA	M3	15	\$ 2.369	\$ 35.535
ESTRUCTURA	UND	CANT	\$/MdO	\$ 936.438
REPLANTEO TERRENO	M2	15	\$ 827	\$ 12.504
SOLADO CIMENTACION	M2	15	\$ 1.415	\$ 21.395
PLACA CIMENTACION	M3	2,52	\$ 48.000	\$ 120.960
FIGURADO ACERO REF	KG	636,66	\$ 207	\$ 131.788
VIBRADO CONCRETO	M3	6,36	\$ 2.800	\$ 17.808
MUROS PERIMETRALES	M3	3,84	\$ 92.181	\$ 353.975
RELLENO PERIMETRAL	M3	19,20	\$ 4.248	\$ 81.562
INST CINTA SIKA PERIM	JN	1,00	\$ 33.750	\$ 33.750
FILTRO PERIMETRAL	ML	16,00	\$ 2.836	\$ 45.376
CANALETA PERIMETRAL	ML	16,00	\$ 5.770	\$ 92.320
RETIRO MATERIAL	JN	1	\$ 25.000	\$ 25.000
			TOTAL	\$ 1.402.296

RESERVORIO BIOFERTILIZANTE

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	M OBRA	TOTAL
CIMENTACION	UND	CANT	\$/Mdo	\$ 220.168
EXCAVACION PISCINA HR RETRO (PARA 94,5 M3)	HR	2	\$ 97.323	\$ 194.646
EXCAVACION MANO	M3	1,5	\$ 9.118	\$ 13.677
RETIRO TIERRA	M3	5	\$ 2.369	\$ 11.845

ESTRUCTURA	UND	CANT	\$/Mdo	\$ 457.000
REPLANTEO TERRENO	M2	4,29	\$ 827	\$ 3.548
SOLADO CIMENTACION	M2	4,29	\$ 1.415	\$ 6.070
PLACA CIMENTACION	M3	0,60	\$ 48.000	\$ 28.800
FIGURADO ACERO REF	KG	318,33	\$ 207	\$ 65.894
VIBRADO CONCRETO	M3	3,18	\$ 2.800	\$ 8.904
MUROS PERIMETRALES	M3	1,92	\$ 92.181	\$ 176.988
RELLENO PERIMETRAL	M3	13,20	\$ 4.248	\$ 56.074
INST CINTA SIKA PERIM	JN	0,50	\$ 33.750	\$ 16.875
FILTRO PERIMETRAL	ML	8,00	\$ 2.836	\$ 22.688
CANALETA PERIMETRAL	ML	8,00	\$ 5.770	\$ 46.160
PISCINA RETIRO MATERIAL	JN	1,00	\$ 25.000	\$ 25.000
			TOTAL	\$ 677.168

CAJA DE DISTRIBUCION

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	M OBRA	TOTAL
CIMENTACION	UND	CANT	\$/Mdo	\$ 76.890
EXCAVACION A MANO	M3	1,73	\$ 9.118	\$ 15.756
MAMPOSTERIA	M2	4,80	\$ 6.963	\$ 33.422
ESMALTADA	M2	4,80	\$ 647	\$ 3.106
RELLENO	M3	2,88	\$ 4.030	\$ 11.606
TAPA EN CONCRETO	UN	1,00	\$ 13.000	\$ 13.000
			TOTAL	\$ 76.890

SISTEMA DE DESAGUE

ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	M OBRA	TOTAL
CIMENTACION	UND	CANT	\$/Mdo	\$ 67.174
INSTALACION TUBERIA 3"	ML	12,00	\$ 5.598	\$ 67.174
			TOTAL	\$ 67.174

ESQUEMA DEL BIODIGESTOR

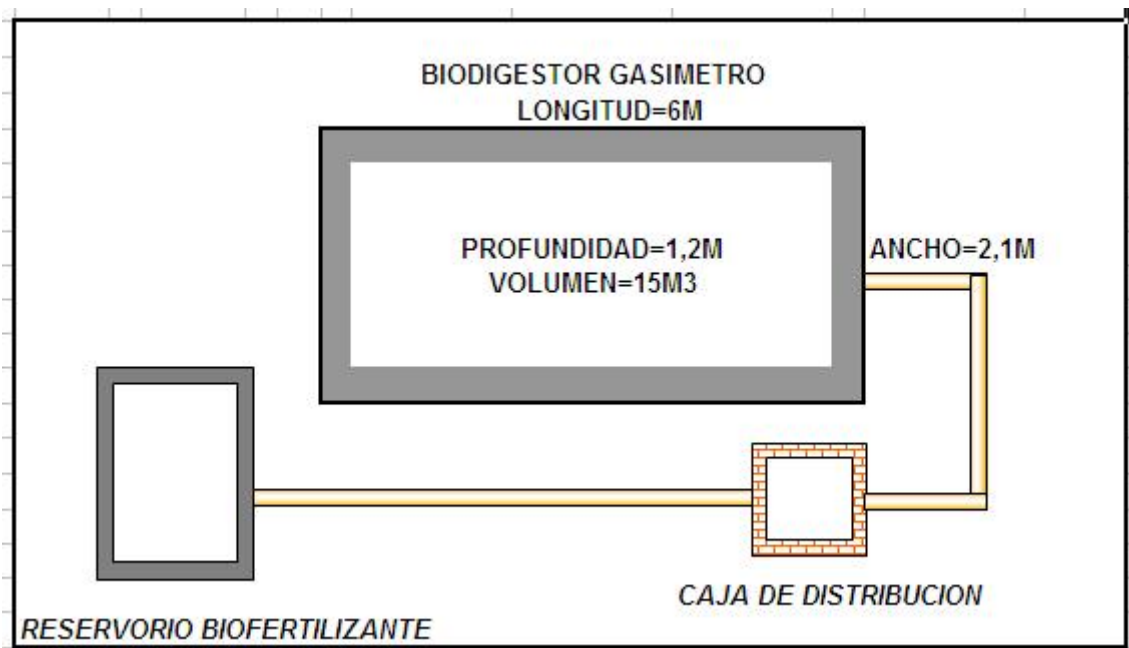


Figura 17. Biodigestor.

Tabla 20. Especificaciones del biodigestor.

<i>ESPECIFICACIONES DEL BIODIGESTOR</i>
MUROS EN CONCRETO REFORZADO IMPERMEABILIZADO PARA EVITAR FILTRACIONES DE AGUA Y HUMEDAD TANTO DE ADENTRO COMO DE AFUERA
PLACA DE PISO EN CONCRETO REFORZADO
MUROS ACABADOS EN ESMALATADO DE AGUA CEMENTO
DOMO EN GEOMEMBRANA DE PVC PARA PROTECCION Y ACUMULACION DE GASES DEL RESERVORIO
<i>ESPECIFICACIONES DEL RESERVORIO BIOFERTILIZANTE</i>
MUROS EN CONCRETO REFORZADO IMPERMEABILIZADO PARA EVITAR FILTRACIONES DE AGUA Y HUMEDAD TANTO DE ADENTRO COMO DE AFUERA
PLACA DE PISO EN CONCRETO REFORZADO
MUROS ACABADOS EN ESMALATADO DE AGUA CEMENTO
<i>ESPECIFICACIONES DE LA CAJA DE DISTRIBUCION</i>
MAMPOSTERIA EN LADRILLO TOLETE EN SOGA
ACABADA INTERNAMENTE EN ESMALTADO DE AGUA CEMENTO
<i>ESPECIFICACIONES SISTEMA DE CONEXIÓN Y DESAGUE BIODIGESTOR</i>
TUBERIA PVC 3"

CUADRO CONSOLIDADO DE COSTOS

Tabla 21. Cuadro consolidado de costos.

ACTIVIDAD	MATERIAL	MANO DE OBRA	TOTAL
BIODIGESTOR GASIMETRO	\$ 3.544.644,73	\$ 1.402.295,68	\$ 4.946.940,41
CUBIERTA EN FIBRA PVC(DOMO)	\$ 2.300.000,00	\$ 50.000,00	\$ 2.350.000,00
RESERVORIO BIOFERTILIZANTE	\$ 1.469.447,89	\$ 677.168,30	\$ 2.146.616,19
CAJA DE DISTRIBUCION	\$ 210.794,08	\$ 76.890,30	\$ 287.684,39
DESAGUE TUBERIA PVC	\$ 52.516,00	\$ 67.173,78	\$ 119.689,78
		TOTAL	\$ 9.731.240,98

ANEXO C. GRUPOS ELECTRÓGENOS COTIZADOS

Tabla 22. Grupos electrógenos cotizados.

GRUPO ELECTROGENO	RENDIMIENTO (%)	PRECIO (\$)
Ezcaray 5500 W	80	5 000 000
Laredo 5000 W	80	5 200 000
⁶ Benasque 5500 W	80	4 500 000

⁶ Grupo electrógeno seleccionado

ANEXO D. ANÁLISIS FINANCIERO

Se identificarán los elementos necesarios para la estructuración financiera cuyo resultado sumado a los estudios previos darán la base para analizar la conveniencia o inconveniencia de la propuesta.

El proceso de viabilidad económica contempla:

1. La magnitud de las inversiones a realizar tanto fijas, diferidas y de capital de trabajo.
2. Identificación de los costos pertinentes en el proyecto: fijos y variables. Adicionalmente los costos administrativos.
3. Identificación de los ingresos.
4. Modelo propuesto en donde se contemplan los informes financieros para la evaluación económica tales como proyección de ingresos, proyección de egresos estado de resultados proyectado, balance de iniciación, flujo de caja neto proyectado.
5. Evaluación financiera del proyecto: cálculo de Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno.

IDENTIFICACIÓN DE INVERSIONES

Las inversiones para el inicio del proyecto son fijas, diferidas y de capital de trabajo.

PRESUPUESTO DE INVERSIONES AÑO 0	
1. INVERSIONES FIJAS	
1.1. DEPRECIABLES	
MAQUINARIA Y EQUIPO	VALOR
Grupo Electrogeno	\$ 4.500.000
Biodigestor	\$ 10.000.000
Kit de bolsas reservorio	\$ 200.000
TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO	\$ 14.700.000
2. INVERSIONES DIFERIDAS	
2.1. GASTOS DE MONTAJE DE SISTEMA	\$ 1.800.000
2.2. GASTOS DE CAPACITACION	\$ 1.000.000
TOTAL INVERSIONES DIFERIDAS	\$ 2.800.000
3. CAPITAL DE TRABAJO	
3.1. CONSUMO ENERGIA	\$ 520.000
TOTAL INVERSIONES DIFERIDAS	\$ 520.000
FLUJO DE INVERSION	\$ 18.020.000

1. Inversiones fijas:

Corresponden a los bienes tangibles que garantizan la operación del proyecto.

Las inversiones fijas son las requeridas para iniciar con el proyecto y están determinadas en maquinaria y equipo. Las cuales son parte inicial de los activos fijos. El monto total es de \$14.700.000.

La maquinaria y equipo es un bien despreciable por su uso y obsolescencia. El costo por la depreciación se contemplará en el análisis de costos.

2. Inversiones diferidas

Las inversiones diferidas se contemplan cuando se realizan compras de servicios necesarios para la puesta en marcha del proyecto, que en el caso particular se refieren al montaje del sistema y capacitación para la utilización.

El monto total de las inversiones diferidas corresponde a \$2.800.000.

3. Capital de trabajo

Corresponde al conjunto de recursos que se requieren para la operación normal del proyecto y se encuentra contemplado en el consumo de energía eléctrica durante los primeros dos meses por un monto total de \$520.000.

IDENTIFICACIÓN DE COSTOS Y GASTOS

Durante la operación se contemplan los siguientes costos: costos fijos y directos como son los de operación y mantenimiento.

Los costos y gastos se estiman de manera mensual para su posterior proyección en términos anuales.

COSTOS Y GASTOS MENSUALES DE OPERACION	
1. COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
1.1. COSTOS DIRECTOS	
Costos de mantenimiento	33.333
Depreciacion Maquinaria y Equipo	122.500
Mano de obra directa	61.250
seguro maquinaria	14.700
TOTAL	\$ 231.783

1. Costos Fijos

- Personal: se contemplarán \$61.250 como parte de jornal de un operario directo. El incremento a contemplar a partir del segundo año es del 6%.
- Mantenimiento: el costo de mantenimiento y operación es de \$100.000 trimestrales con un incremento anual del 10%.
- Depreciación. La vida útil es diferente en cada activo, depende de la naturaleza del mismo. Pero por simplicidad y estandarización, la legislación Colombiana, ha establecido la vida útil de los diferentes activos clasificándolos de la siguiente manera, según decreto 3019 de 1989:
 - Inmuebles (incluidos los oleoductos) 20 años.
 - Barcos, trenes, aviones, maquinaria, equipo y bienes muebles 10 años.
 - Vehículos automotores y computadores 5 años.

Por lo anterior se tomara una depreciación de 10 años por tratarse de una máquina.

- Seguros: la maquinaria cuenta con un seguro contra todo riesgo.

INGRESOS

Los ingresos en el flujo de caja son el ahorro en cuanto a la energía eléctrica se refiere, siendo este el dinero que se ahorrarían con la implementación del sistema.

El consumo mensual de energía eléctrica es de 800 kWh, el valor del kWh es \$325 pesos para el año 2009 y para los años subsiguientes el valor de 1 kWh se incrementa en un 6%.

Por lo tanto los ingresos serán:

INGRESOS MENSUALES	
CONCEPTO DE INGRESO	INGRESO MENSUAL
800 KW/HORA DE CONSUMO Y \$325 COSTO DE 1KWH	
consumo mensual de energia	\$ 260.000
TOTAL	\$ 260.000

Ingresos anuales

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<i>% Incremento</i>		6%	6%	6%	6%
<i>Consumo en kwh</i>	800	800	800	800	800
<i>costo kwh</i>	\$ 325	\$ 345	\$ 365	\$ 387	\$ 410
<i>Ingreso anual</i>	\$ 3.120.000	\$ 3.307.200	\$ 3.505.632	\$ 3.715.970	\$ 3.938.928

	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
<i>% Incremento</i>	6%	6%	6%	6%	6%
<i>Consumo en kwh</i>	800	800	800	800	800
<i>costo kwh</i>	\$ 435	\$ 461	\$ 489	\$ 518	\$ 549
<i>Ingreso anual</i>	\$ 4.175.264	\$ 4.425.780	\$ 4.691.326	\$ 4.972.806	\$ 5.271.174

	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
<i>% Incremento</i>	6%	6%	6%	6%	6%
<i>Consumo en kwh</i>	800	800	800	800	800
<i>costo kwh</i>	\$ 582	\$ 617	\$ 654	\$ 693	\$ 735
<i>Ingreso anual</i>	\$ 5.587.445	\$ 5.922.692	\$ 6.278.053	\$ 6.654.736	\$ 7.054.020

	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
% Incremento	6%	6%	6%	6%	6%
Consumo en kwh	800	800	800	800	800
costo kwh	\$ 779	\$ 826	\$ 875	\$ 928	\$ 983
Ingreso anual	\$ 7.477.262	\$ 7.925.897	\$ 8.401.451	\$ 8.905.538	\$ 9.439.870

Costos anuales

A continuación, se presenta un presupuesto de costos y gastos del proyecto, en el cual se proyectan los rubros que se incrementan en un 10% anual como el mantenimiento, la mano de obra directa y el seguro de la maquinaria. Tomando como base el monto de los costos y gastos mensuales se proceden a proyectarse por el tiempo de vida útil del proyecto, es decir, a 20 años.

	1	2	3	4	5
		10%	10%	10%	10%
Costos de Operación					
Costos de mantenimiento	\$ 400.000	\$ 440.000	\$ 484.000	\$ 532.400	\$ 585.640
Depreciacion Maquinaria e Equipo	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000
Mano de obra directa	\$ 735.000	\$ 779.100	\$ 825.846	\$ 875.397	\$ 927.921
seguro maquinaria	\$ 176.400	\$ 186.984	\$ 198.203	\$ 210.095	\$ 222.701
Total Costos Operación	\$ 2.781.400	\$ 2.876.084	\$ 2.978.049	\$ 3.087.892	\$ 3.206.262

	6	7	8	9	10
	10%	10%	10%	10%	10%
Costos de Operación					
Costos de mantenimiento	\$ 644.204	\$ 708.624	\$ 779.487	\$ 857.436	\$ 943.179
Depreciacion Maquinaria e Equipo	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000
Mano de obra directa	\$ 983.596	\$ 1.042.612	\$ 1.105.168	\$ 1.171.478	\$ 1.241.767
seguro maquinaria	\$ 236.063	\$ 250.227	\$ 265.240	\$ 281.155	\$ 298.024
Total Costos Operación	\$ 3.333.863	\$ 3.471.463	\$ 3.619.895	\$ 3.780.069	\$ 3.952.970

	11	12	13	14	15
	10%	10%	10%	10%	10%
Costos de Operación					
Costos de mantenimiento	\$ 1.037.497	\$ 1.141.247	\$ 1.255.371	\$ 1.380.908	\$ 1.518.999
Depreciacion Maquinaria e Equipo					
Mano de obra directa	\$ 1.316.273	\$ 1.395.249	\$ 1.478.964	\$ 1.567.702	\$ 1.661.764
seguro maquinaria	\$ 315.906	\$ 334.860	\$ 354.951	\$ 376.249	\$ 398.823
Total Costos Operación	\$ 2.669.676	\$ 2.871.356	\$ 3.089.287	\$ 3.324.859	\$ 3.579.587

	16	17	18	19	20
	10%	10%	10%	10%	10%
Costos de Operación					
Costos de mantenimiento	\$ 1.670.899	\$ 1.837.989	\$ 2.021.788	\$ 2.223.967	\$ 2.446.364
Depreciación Maquinaria e Equipo					
Mano de obra directa	\$ 1.761.470	\$ 1.867.158	\$ 1.979.188	\$ 2.097.939	\$ 2.223.816
seguro maquinaria	\$ 422.753	\$ 448.118	\$ 475.005	\$ 503.505	\$ 533.716
Total Costos Operación	\$ 3.855.122	\$ 4.153.266	\$ 4.475.981	\$ 4.825.412	\$ 5.203.895

Los costos de operación mensuales se encuentran reflejados en los costos de mantenimiento, la depreciación de la maquinaria, la mano de obra y el seguro contra todo riesgo. Todos los costos y gastos detallados corresponden a los realmente causados en el transcurso de un año.

Balance inicial con recursos propios

ACTIVO		PASIVO	
CORRIENTE		NO CORRIENTE	
Disponibles	\$ 520.000	Obligaciones Financieras	\$ 0
		TOTAL PASIVO	\$ 0
ACTIVO NO CORRIENTE		PATRIMONIO	
Activos Fijos	\$ 14.700.000	Patrimonio	\$ 18.020.000
Depreciación Acumulada	\$ 0	Utilidad Ejercicio	\$ -
Activos Diferidos	\$ 2.800.000		\$ 0
	TOTAL PASIVO + PATRIMONIO		\$ 18.020.000
TOTAL ACTIVO	\$ 18.020.000		

- Activo: El proyecto contempla un total de activos de \$18.020.000 conformado en un 89.1% por los activos fijos y el disponible por un 1.7% que corresponde al capital de trabajo y al 9.2% en activos diferidos.
- Pasivos: No posee pasivos por cuanto la financiación es 100% con recursos de socios.
- Patrimonio: El valor del patrimonio es del 100% del total pasivo más patrimonio.

Estado de Resultado Proyectado con financiación de recursos propios

Teniendo en cuenta los costos y gastos contemplados en un mes se proyecta el estado de resultados con recursos propios al tiempo de vida útil (20 años).

Fuentes de financiación

FUENTES	MONTO
RECURSOS PROPIOS	\$ 18.020.000
TOTAL PROYECTO	\$ 18.020.000

Los ingresos del proyecto cubren los costos a partir del primer año presentando utilidad bruta y operacional positiva al igual que el resultado neto.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por ventas	\$ 3.120.000	\$ 3.307.200	\$ 3.505.632	\$ 3.715.970	\$ 3.938.928
Costo de ventas	\$ 2.781.400	\$ 2.876.084	\$ 2.978.049	\$ 3.087.892	\$ 3.206.262
Costos Operativos	\$ 2.781.400	\$ 2.876.084	\$ 2.978.049	\$ 3.087.892	\$ 3.206.262
Utilidad Bruta	\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667
Gastos operacionales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortizacion de diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Operacional	\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667
Gastos financieros (i)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Antes Impuestos	\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad del ejercicio	\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667

	6	7	8	9	10
Ingresos por ventas	\$ 4.175.264	\$ 4.425.780	\$ 4.691.326	\$ 4.972.806	\$ 5.271.174
Costo de ventas	\$ 3.333.863	\$ 3.471.463	\$ 3.619.895	\$ 3.780.069	\$ 3.952.970
Costos Operativos	\$ 3.333.863	\$ 3.471.463	\$ 3.619.895	\$ 3.780.069	\$ 3.952.970
Utilidad Bruta	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204
Gastos operacionales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortizacion de diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Operacional	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204
Gastos financieros (i)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Antes Impuestos	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad del ejercicio	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204

	11	12	13	14	15
Ingresos por ventas	\$ 5.587.445	\$ 5.922.692	\$ 6.278.053	\$ 6.654.736	\$ 7.054.020
Costo de ventas	\$ 2.669.676	\$ 2.871.356	\$ 3.089.287	\$ 3.324.859	\$ 3.579.587
Costos Operativos	\$ 2.669.676	\$ 2.871.356	\$ 3.089.287	\$ 3.324.859	\$ 3.579.587
Utilidad Bruta	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433
Gastos operacionales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortizacion de diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Operacional	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433
Gastos financieros (i)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Antes Impuestos	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad del ejercicio	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433

	16	17	18	19	20
Ingresos por ventas	\$ 7.477.262	\$ 7.925.897	\$ 8.401.451	\$ 8.905.538	\$ 9.439.870
Costo de ventas	\$ 3.855.122	\$ 4.153.266	\$ 4.475.981	\$ 4.825.412	\$ 5.203.895
Costos Operativos	\$ 3.855.122	\$ 4.153.266	\$ 4.475.981	\$ 4.825.412	\$ 5.203.895
Utilidad Bruta	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975
Gastos operacionales	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización de diferidos	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Operacional	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975
Gastos financieros (i)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Antes Impuestos	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad del ejercicio	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975

Flujo de Caja Neto

Tomando los supuestos del estado de resultados se realiza el flujo de caja, neto, durante el tiempo de vida útil del proyecto de 20 años para evaluar financieramente el comportamiento del proyecto en términos de rentabilidad.

Flujo de caja neto sin crédito

	0	1	2	3	4	5
Ingresos Venta		\$ 3.120.000	\$ 3.307.200	\$ 3.505.632	\$ 3.715.970	\$ 3.938.928
Costos Venta		\$ 2.781.400	\$ 2.876.084	\$ 2.978.049	\$ 3.087.892	\$ 3.206.262
Flujo Caja Operacional		\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667
Gastos Financieros		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos Operacionales						
Utilidad Bruta		\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667
Impuestos (32%)		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Neta		\$ 338.600	\$ 431.116	\$ 527.583	\$ 628.078	\$ 732.667
Depreciaciones y amortizaciones		\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000
Amortización de capital						
Inversión inicial	\$ -18.020.000					
Flujo Neto de Caja	\$ -18.020.000	\$ 1.808.600	\$ 1.901.116	\$ 1.997.583	\$ 2.098.078	\$ 2.202.667

	6	7	8	9	10
Ingresos Venta	\$ 4.175.264	\$ 4.425.780	\$ 4.691.326	\$ 4.972.806	\$ 5.271.174
Costos Venta	\$ 3.333.863	\$ 3.471.463	\$ 3.619.895	\$ 3.780.069	\$ 3.952.970
Flujo Caja Operacional	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204
Gastos Financieros	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos Operacionales					
Utilidad Bruta	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Neta	\$ 841.401	\$ 954.317	\$ 1.071.431	\$ 1.192.737	\$ 1.318.204
Depreciaciones y amortizaciones	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000	\$ 1.470.000
Amortización de capital					
Inversión inicial					
Flujo Neto de Caja	\$ 2.311.401	\$ 2.424.317	\$ 2.541.431	\$ 2.662.737	\$ 2.788.204

	11	12	13	14	15
Ingresos Venta	\$ 5.587.445	\$ 5.922.692	\$ 6.278.053	\$ 6.654.736	\$ 7.054.020
Costos Venta	\$ 2.669.676	\$ 2.871.356	\$ 3.089.287	\$ 3.324.859	\$ 3.579.587
Flujo Caja Operacional	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433
Gastos Financieros	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos Operacionales					
Utilidad Bruta	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Neta	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433
Depreciaciones y amortizaciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización de capital					
Inversión inicial					
Flujo Neto de Caja	\$ 2.917.769	\$ 3.051.336	\$ 3.188.766	\$ 3.329.877	\$ 3.474.433

	16	17	18	19	20
Ingresos Venta	\$ 7.477.262	\$ 7.925.897	\$ 8.401.451	\$ 8.905.538	\$ 9.439.870
Costos Venta	\$ 3.855.122	\$ 4.153.266	\$ 4.475.981	\$ 4.825.412	\$ 5.203.895
Flujo Caja Operacional	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975
Gastos Financieros	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Gastos Operacionales					
Utilidad Bruta	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975
Impuestos (32%)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidad Neta	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975
Depreciaciones y amortizaciones	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización de capital					
Inversión inicial					
Flujo Neto de Caja	\$ 3.622.139	\$ 3.772.632	\$ 3.925.470	\$ 4.080.127	\$ 4.235.975

El flujo de caja proyectado asume todos los rubros mencionados en el estado de resultados, sin embargo como estamos planteando un real movimiento de efectivo, se debe revertir el descuento realizado por concepto de depreciación. Este movimiento a nivel de los recursos realmente movilizados por la empresa muestra un resultado superior al observado en el estado de resultados, producto de la depreciación la cual es muy superior a la cuota de capital del crédito asumido y muestra un resultado positivo durante todos los años.

El flujo de caja busca prevenir las necesidades de efectivo y de esta manera cubrirlas adecuada y oportunamente. Para el caso del flujo de se observan excedentes desde el inicio del proyecto con un crecimiento bajo y constante con excedentes de caja representativos.

EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Tasa Interna de Retorno

Tasa Interna de retorno sin credito
12,37%

El proyecto genera una Tasa Interna de Retorno del 12.37%. La TIR se encuentra por encima de una tasa de oportunidad la cual podría asimilarse a un titulo de bajo riesgo como son los TES.

Teniendo en cuenta que la tasa se iguala a la suma de los ingresos actualizados, con la suma de los egresos actualizados (igualando al egreso inicial). También se puede decir que es la tasa de interés que hace que el VPN del proyecto sea igual a cero.

Para el caso del proyecto, y desde el punto de vista de rentabilidad más no de ingreso monetario neto se podría decir que el proyecto es viable desde su rentabilidad pues presenta un margen superior al de inversiones existentes en el mercado de bajo riesgo.

El efecto de viabilidad financiera desde el punto de vista de la tasa interna de retorno, podría ser medido por un resultado superior a una tasa de oportunidad del 12%.

Valor Presente Neto

Valor Presente neto sin credito
\$ 446.445,33

De la tabla anterior se puede decir que desde el punto de vista de la recuperación de la inversión, para la proyección financiera, la inversión del proyecto si se recupera en la vida útil del proyecto dando un valor de VPN mayor que cero, lo cual, hace viable el proyecto.