



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

TEMA: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE
BIOGÁS PARA USO DOMÉSTICO EN LA HACIENDA SAN
FRANCISCO.”

AUTOR: JULIO CESAR CUNALATA MORAN

DIRECTOR: ING. PABLO MENA.

CODIRECTOR: ING. MARIO JIMÉNEZ

LATACUNGA

2017



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGAS PARA USO DOMÉSTICO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO.”** realizado por el señor JULIO CESAR CUNALATA MORAN, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores JULIO CESAR CUNALATA MORAN para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, febrero del 2017



ING. PABLO MENA
DIRECTOR



ING. MARIO JIMÉNEZ
CODIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, JULIO CESAR CUNALATA MORAN, con cédula de identidad N° 1804205076, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGAS PARA USO DOMÉSTICO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO.”** Ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, febrero del 2017



Julio Cesar Cunalata Moran

C.C.: 180420507-6



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, JULIO CESAR CUNALATA MORAN, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGAS PARA USO DOMÉSTICO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, febrero del 2017

Julio Cesar Cunalata Moran

C.C.: 180420507-6

DEDICATORIA

Este proyecto le dedico A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Rosa Guadalupe Moran Villacis.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, mientras te tuve a lado mío, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Jorge Cunalata.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

Mis hermanos, Mauricio, Anita, Jorge, Santiago, por estar conmigo y apoyarme siempre y a mis sobrinos, los quiero mucho.

A mis amigos que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Juan, Alex, Wilson, José, Guillermo, Vanessa, por haberme ayudado a realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Le doy gracias a mis padres Rosa y Jorge por apoyarme en todo momento y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos Mauricio, Anita, Jorge, por ser parte importante de mi vida, por estar a mi lado apoyandome ante todo y tenerme paciencia en mis errores.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	2
1.4. Justificación e importancia.....	2
1.5. Objetivos	2
1.5.1. Objetivo general	2
1.5.2. Objetivos específicos	3
1.6. ALCANCE.....	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Biodigestor.	4
2.1.1. Clasificación de Biodigestores.....	4
2.1.2 . Proceso bioquímico de la digestión anaerobia.	6
2.1.3. Factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia.	8

2.2.	Disponibilidad de materia prima para los biodigestores.....	9
2.2.1.	Biomasa.....	10
2.3.	Biogás.....	10
2.3.1.	Historia del Biogás.....	11
2.3.2.	Composición y características del biogás.....	12
2.3.3.	Ventajas del Biogás:.....	15
2.3.4.	Desventajas del Biogás:.....	15
2.3.5.	Purificación o acondicionamiento del biogás:.....	16
2.3.6.	Aprovechamiento del Biogás.....	20
2.3.7.	Sopladores para gas (biogás).....	22
2.3.8.	Tipos de Sopladores.....	22
2.3.9.	Tren de calibración de biogás:.....	24
2.3.10.	Línea de conducción de biogás.....	26
2.4.	Cocina industrial.....	29
2.4.1.	Cocina a biogás.....	29
2.4.2.	El uso del biogás en la cocina.....	30
2.4.3.	Estufas especiales para biogás.....	30
2.5.	La seguridad de la instalación.....	32
2.6.	Seguridad en biodigestor.....	33
2.6.1.	Onda de explosión.....	34
2.6.2.	Deflagracion.....	35
2.6.3.	Sistema Pararrayo.....	35
2.6.4.	Fuentes de ignición.....	35

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGÁS MEDIANTE TUBERÍA PVC..... 38

3.1.	Situación actual de la Hacienda San Francisco.....	38
3.2.	Biodigestor de Alimentación Continua En la Hacienda San Francisco.....	38
3.2.1.	Componentes de un Biodigestor de Alimentación Continua En La Hacienda San Francisco.....	40

3.3.	Flujo grama con el procedimiento para el diseño de la línea de conducción del biogás.	42
3.3.1.	Diagnóstico del área.	42
3.3.2.	Parámetros de diseño.....	43
3.3.3.	Calculo de la red a través de los modelos matemáticos.	44
3.4.	Descripción del área a gasificar.	44
3.4.1.	Levantamiento Topográfico en la Hacienda San Francisco.	45
3.5.	Diseño de la línea de distribución del biogás para uso doméstico.....	45
3.5.1.	Obtención de datos.	45
3.5.2.	Producción de biogás del digestor.....	45
3.5.3.	Cromatografía de biogás en producción.....	46
3.5.4.	Determinación de la demanda para el área a gasificar.	46
3.5.5.	Aprovechamiento de biogas en la cocina.....	47
3.5.6.	Acumulador de biogás.	48
3.5.7.	Acondicionamiento de la cocina industrial para su funcionamiento con biogás – GLP.....	50
3.5.8.	Criterios y consideraciones del diseño.....	51
3.6.	Selección de los elementos del sistema de transporte de biogás.....	52
3.6.1.	Selección del soplador	52
3.6.2.	Selección del presostato	54
3.6.3.	Selección de la tubería para la succión y descarga del biogás	56
3.6.4.	Selección de accesorios y válvulas.....	58
3.7.	Diseño electromecánico y control.....	61
3.8.	Diseño mecánico.	61
3.8.1.	Dimensionamiento de la estructura del tren de calibración	61
3.8.2.	Tubería del tren de calibración.....	62
3.8.3.	Diseño del tren de calibración	63
3.9.	Comprobación del diseño usando el Software Solidworks 2014.....	63
3.9.1.	Resultados de la simulación mediante el Software Solidworks.	64
3.10.	Diseño del filtro H2S	64

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS ECONÓMICO	67
4.1. COSTO DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.	67
4.1.1. Mano de Obra Directa (MOD).....	68
4.1.2. Costos Indirectos (CI).....	69
4.2. Determinación de los costos de operación	70
4.2.1. Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento.....	70
4.2.2. Costos mano de obra de operadores	71
4.2.3. Cálculo del ingreso total	71
4.2.4. Cálculo de flujos de caja	72
4.2.5. Cálculo del VAN, TIR, tiempo de recuperación.....	74
4.2.6. Cálculo del van (valor actual neto)	74
4.2.7. Cálculo de la TIR (tasa interna de retorno)	75
4.2.8. Tiempo de recuperación de la inversión (TR)	75
4.3. Interpretación	76

CAPÍTULO IV

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1 Conclusiones	77
5.2. Recomendaciones.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS.....	82
CERTIFICACIÓN.....	83

Anexo A.	Accesorios
Anexo B.	Levantamiento Topográfico
Anexo B. 1.	Levantamiento Topográfico Línea de Conducción de Biogás
Anexo C.	Diseño Eléctrico
Anexo D.	Diseño de la Línea de Biogás
Anexo D. 1.	Acumulador de Biogás
Anexo D. 2.	Soporte de del Cabezal para el Tapado
Anexo D. 3.	Estructura de Soporte

Anexo D. 4. Tren de Calibración de Biogás

Anexo D. 1. 1. Corta Llamas

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Composición típica del biogás de vertedero	12
Figura 2	Diferentes aplicaciones del biogás.	20
Figura 3	Soplador de canal lateral.	24
Figura 4	Tren de calibración de biogás y sus componentes	25
Figura 5	Tren de calibración de biogás y sus componentes	25
Figura 6	Instalación de una trampa de agua a la cocina.	28
Figura 7	Montaje de una trampa de ácido sulfhídrico	29
Figura 8	Quemador estrella.	31
Figura 9	Quemador campana.....	31
Figura 10	Vista de mezclador y el quemador	32
Figura 11	Definición de las Zonas con Riesgo.....	33
Figura 12	Ubicación de la Hacienda San Francisco	38
Figura 13	Esquema de Biodigestor.....	39
Figura 14	Tanque de mezcla y alimentación	40
Figura 15	Biodigestor de alimentación continúa.	41
Figura 16	Laguna de Descarga	41
Figura 17	Secado de Lodos para uso Agrícola	42
Figura 18	Diagnóstico del área.	42
Figura 19	Parámetros de diseño.....	43
Figura 20	Calculo de la red a través de los modelos matemáticos	44
Figura 21	Medidor de gas	47
Figura 22	Bolsa de biogás.....	49
Figura 23	Entrada del biogás hacia la cocina, ANEXO D-1.1	49
Figura 24	Cocina industrial modificada, ANEXO D-2	50
Figura 25	Fisto normal.....	51
Figura 26	Tren de calibración del biogás.	52
Figura 27	Soplador MAPRO	54
Figura 28	Válvula de Cierre	59
Figura 29	Manómetro	59
Figura 30	Válvula Check.....	60

Figura 31	Válvula de Seguridad	60
Figura 32	Estructura metálica.....	62
Figura 33	Tubería de tren de calibración.....	62
Figura 34	Tren de calibración. Anexo D.4	63
Figura 35	Diseño usando el software SOLIDWORKS	63
Figura 36	Tanque de 200 litros de volumen.....	65
Figura 37	Viruta Frix 200 g referencia 7128	65
Figura 38	Filtro de H ₂ S.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Mecanismos típicos de formación de metano.....	8
Tabla 2	Tipos de digestión según la temperatura de operación	9
Tabla 3	Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.....	10
Tabla 4	Elementos que contiene el biogás.	13
Tabla 5	Las características del Biogás.	13
Tabla 6	Equivalentes energéticas de 1 m ³ de biogás	14
Tabla 7	Características del biogás y comparación con otros gases.....	14
Tabla 8	Vista de conjunto de los métodos de desulfuración.	18
Tabla 9	Rendimiento de los artefactos por medio de biogás	21
Tabla 10	Índices de consumo de gas según el tipo de cocina y su uso	21
Tabla 11	Ventajas y desventajas de materiales de tuberías.....	27
Tabla 12	Resultado de levantamiento topográfico.....	45
Tabla 13	Control de producción de biogás en la Hacienda San Francisco	45
Tabla 14	Cromatografía de biogás, Hacienda San Francisco.	46
Tabla 15	Medición del consumo de GLP.....	46
Tabla 16	Consumo de Biogas.	47
Tabla 17	Matriz de ponderación del Soplador	53
Tabla 18	Matriz de ponderación del Presostato	55
Tabla 19	Valores a remplazar en la Ec.3.4.....	57
Tabla 20	Datos para obtener el diámetro de la tubería.....	57
Tabla 21	Matriz de ponderación del Soplador	64
Tabla 22	Costos de implementación del sistema de conducción.	67
Tabla 23	Materia Prima Directa.....	68
Tabla 24	Mano de Obra Directa.....	69
Tabla 25	Costos Indirectos.....	69
Tabla 26	Inversión Total	70
Tabla 27	Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento.....	71
Tabla 28	Costos mano de obra de operadores.....	71
Tabla 29	Costos de operación	71
Tabla 30	Ingreso Total	72

Tabla 31 Inversión total para un año proyectado.....	72
Tabla 32 Tasa de interés activas efectivas vigentes.....	72
Tabla 33 Amortización de préstamos.....	73
Tabla 34 Flujo de caja.....	73
Tabla 35 Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.	76

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta el diseño, desarrollo de una línea de conducción de biogás en la Hacienda San Francisco, el cual tendrá la capacidad de conducir **6 m³/6h** , a través de un tren de calibración que permite impulsar el biogás hacia la cocina, el equipo Soplador es fácil de usar donde cualquier persona podrá tener acceso a la operación del mismo sin tener ningún problema de manipulación. Se diseñó un filtro de purificación que permite separar el H₂S del biogás, se diseñó el tanque de anti explosión que ayuda a sofocar la llama en caso de que exista un fuego mal intencionado, también se diseñó la bolsa de acumulación de biogás para abastecer a la estufa, la línea de conducción de biogás permitió unir los elementos antes mencionados al biodigestor y a la cocina. La línea de conducción de biogás logra actuar sobre los seis quemadores, los mismos que sirven para el uso del biogás en las 6 horas para adobar de los alimentos. Cabe recalcar que la línea de conducción de biogás no afecto en nada a las condiciones de trabajo de la cocina industrial, fue necesario adecuar la entrada del biogás hacia la estufa.

PALABRAS CLAVE:

- **BIOGÁS.**
- **TREN DE CALIBRACIÓN.**
- **COCINA A BIOGAS.**
- **FILTRO DE H₂S.**

ABSTRACT

This project presents the design; development of a biogas pipeline at the Hacienda San Francisco, which will have the capacity to drive $6 \text{ m}^3/6\text{h}$, through a calibration train that allows pushing the biogas to the kitchen, the blower equipment is easy To use where any person can have access to the operation of the same without having any problem of manipulation. A purification filter was designed to separate the H₂S from the biogas; the anti-explosion tank was designed to help smother the flame in the event of a malicious fire. The biogas accumulation bag was also designed to supply the Stove, the line of conduction of biogas allowed to join the aforementioned elements to the biodigestor and to the kitchen. The line of conduction of biogas succeeds to act on the six burners, the same ones that serve for the use of biogas in the 6 hours to marinate the foods. It should be noted that the biogas conduction line did not affect the working conditions of the industrial kitchen at all, it was necessary to adjust the entrance of the biogas to the stove

KEYWORDS:

- **BIOGÁS.**
- **CALIBRATION TRAIN.**
- **KITCHEN TO BIOGAS.**
- **H₂S FILTER.**

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Generalidades

1.1.1. Antecedentes

La Hacienda San Francisco se encuentra ubicada al norte de la Provincia de Cotopaxi a 400 metros de la piedra Colorada, la Hacienda tiene como actividad la producción de leche y de rosas para exportación y cuenta con 300 personas que elaboran, en sus instalaciones cuenta con un biodigestor que tiene una capacidad de producir $1200 \text{ m}^3/\text{día}$ de biogás, el cual podría ser utilizado como sustituto del GLP, la empresa consume 9 cilindros de 15 Kg semanales para la elaboración de alimentos y actualmente tiene un costo 24 USD c/u, es decir mensualmente tienen un egreso de 1000 dólares, estos gastos podrían ser evitados mediante la implementación de un sistema de transporte de biogás.

El biogás es un combustible natural, no fósil, de alto poder calorífico dependiendo el contenido de gas metano. El aprovechamiento de biogás comprende básicamente su uso como combustible para la generación eléctrica en generadores, turbinas, calderas, para la alimentación a la red de gas natural y como combustible para vehículos.

El biogás no se quema ni explota con facilidad. No se puede quemar solo, sino que necesita una mezcla de aire-biogás para que se encienda.

Para el transporte y aprovechamiento de biogás se requiere de la instalación de un tren de calibración de biogás para controlar la presión, medir el caudal del biogás, medir la concentración de CH₄, calibrar la presión de servicio, cierre automático del paso del biogás, corta llamas.

1.2. Planteamiento del problema

La empresa AGROGANA utiliza considerables cantidades de GLP diariamente, para la cocción de alimentos, que son consumidos por el gran número de personal que laboran en sus instalaciones, incurriendo en pagos elevados, los cuales repercuten en la economía de la empresa.

Al contar con un biodigestor el cual se encuentra actualmente produciendo biogás se plantea la posibilidad de transportarlo para poder de esta manera reducir los gastos que se generan al consumir el GLP.

1.3. Descripción resumida del proyecto

1.4. Justificación e importancia

Debido a la producción de biogás que se obtiene del biodigestor de la hacienda San Francisco se puede implementar un sistema para el transporte del biogás, el cual permitirá aprovechar el biogás y poderlo sustituir por el GLP.

Los beneficios son varios, tanto económicos como de ayuda a la conservación del medio ambiente, además de poner en la mira a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE como pionera en la investigación de este tipo de tecnologías.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

DISEÑAR UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGÁS PARA USO DOMÉSTICO EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar el sustento teórico necesario para el desarrollo del proyecto.
- Diseñar el sistema de manejo de biogás.
- Realizar el levantamiento topográfico para la línea de conducción.
- Diseñar el filtro de H_2S
- Diseñar la red de tuberías para el transporte del biogás.

1.6. ALCANCE

- Sustento teórico de los biodigestores y de los gases.
- Sustento teórico de la combustión de los gases y conducción del biogás.
- Sustento teórico de selección de tuberías de conducción de gases.
- Sistema de conducción y manejo de biogás.
- Diseño del sistema de tren de calibración para el biogás.
- Diseño de las tuberías de conducción del biogás.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Biodigestor.

Los biodigestores son depósitos o tanques cerrados herméticamente. A grandes rasgos se puede definir como recipientes o tanques que permiten la carga (afluente) de sustratos (biomasa) y descarga (efluente) de bioabono-biol y posee un sistema de recolección y almacenamiento de biogás para su aprovechamiento energético. (Gabriel Moncayo Romero, 2011).

Los altos costos de generación de energía eléctrica y calorífica utilizando combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, los costos del abastecimiento de petróleo, la contaminación ambiental por su uso, sumado al costo que involucra su obtención y su carácter finito, generan la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, para la generación de energía eléctrica y de calor

2.1.1. Clasificación de Biodigestores.

Los digestores se clasifican por el tipo de procesos o modo de operación, llenado y vaciado. Se los define en digestores de régimen estacionario por lotes y de régimen continuo.

A. Digestores de carga en Batch.

Se carga una vez en forma total o por intervalos durante varios días. La descarga se efectúa cuando se ha degradado la totalidad de la materia orgánica y ya no se produce biogás. Es aplicable cuando se presentan problemas operativos (falta de personal) o cuando la materia orgánica no existe en forma continua. Ventajas de este tipo de digestores: pueden procesar una gran variedad de sustrato. La carga puede recopilarse en campo abierto porque, aunque tenga tierra u otro inerte mezclado, no

entorpece la operación del biodigestor. Admiten cargas secas que no absorben humedad, así como con materiales que flotan en el agua. Su trabajo en ciclos nos hace especialmente aptos para los casos en que la disponibilidad de materia prima no sea continua, sino periódicamente. No requiere prácticamente ninguna atención diaria. Las principales desventajas son que la carga y descarga requiere un considerable y paciente trabajo. (Moncayo Romero, 2011)

B. Digestores de régimen continuo.

Este tipo de biodigestor se desarrolló principalmente para el tratamiento de aguas residuales y en la actualidad su uso sea extendido al manejo de todo tipo de sustratos. Se los utiliza para plantas de biogás para la producción de energía eléctrica. Son digestores de gran tamaño en los que se emplean equipos comerciales para su alimentación, para la agitación y control. Este tipo de digestor es el más utilizado en Europa y en plantas industriales en Latino América. Estas plantas se cargan diariamente en forma periódica, la biomasa debe ser fluida y homogénea. Estas plantas se pueden automatizar con facilidad. (Moncayo Romero, 2011).

Este tipo de digestores permite controlar la digestión con el grado de precisión que se requiere. Permiten corregir cualquier anomalía que se presente en el proceso. Permite manejar las variables relacionadas, carga volumétrica, tiempo de retención y temperatura, a largos periodos. La tarea de “puesta en marcha” solo se vuelve a repetir cuando hay que vaciarlo por razones de mantenimiento. Las operaciones de carga y descarga de la biomasa y fertilizante no requieren de ninguna operación especial.

Las desventajas de este tipo de digestor son la baja admisión de concentración de sólidos, no poseer un diseño apropiado para tratar sustratos fibrosos o aquellos cuyo peso específico sea menor que el del agua. En ocasiones tienen problemas de limpieza de sedimentos, espuma, costras e incrustaciones. Para mejorar la producción de metano de este tipo de biodigestor, es conveniente disponer de la cantidad y calidad adecuada de sólidos volátiles.

La mezcla de desechos debe tener una balanceada cantidad de carbono/nitrógeno, que sea homogénea, que no tenga impurezas como trozos de materia mayores a 1 cm^3 , que tengan niveles de pH balanceados y que posea una alta cantidad de organismo metanizante y metanizables.

Alimentado estos biodigestores con mezclas de distinta calidad se han obtenido resultados bastante satisfactorios. Los biodigestores industriales de gran tamaño no solo tienen en cuenta la temperatura de la biomasa o el pH, sino la cantidad y calidad de los sólidos volátiles que se ingresa, teniendo en cuenta que esta es parte inteligente de cualquier tipo de biomasa.

2.1.2 .Proceso bioquímico de la digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico que se desarrolla en varias fases, donde la materia orgánica y/o inorgánica es degradada por la actividad bacteriana en ausencia de oxígeno molecular.

La población bacteriana es el factor fundamental en el proceso anaerobio, por tal motivo es importante conocer sus aspectos generales. Estos organismos tienen la capacidad de biodegradar totalmente los desechos naturales. Para que la descomposición de la materia orgánica se lleve a cabo, se requiere de la actividad de bacterias conformadas principalmente por dos grupos: (Ponce, 2001)

- 1. Bacterias formadoras de ácido, que se subdividen en acidogénicas y acetogénicas.*
- 2. Bacterias formadoras de metano, las cuales se dividen en metanogénicas hidrogenófilas y metanogénicas acetoclásticas.*

Para que el proceso se realice de manera adecuada, los microorganismos que en él intervienen, deberán hallarse en estado de equilibrio dinámico, así también las condiciones propicias para el desarrollo de éstas, como carecer de oxígeno disuelto (<3 mg/l), libre de constituyentes inhibitorios (metales pesados, sulfuros y producción excesiva de bióxido de carbono, hidrógeno y otros gases), considerando que deberán ser compatibles con la naturaleza de la materia orgánica, cargas

hidráulicas y orgánicas. Esta población bacteriana utiliza el 10% de su energía obtenida del alimento o sustrato para funciones de reproducción, dando origen a nuevas células y generando así poco lodo; el 90% restante lo destinan a la producción de gas metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H_2).

Generalmente se puede considerar que el proceso anaerobio en su forma más elemental comprende de solo dos etapas: fermentación ácida y fermentación metanogénica. Aunque de acuerdo con Zehnder (1978) y Orozco (1989) éste ocurre en tres etapas básicas, que son:

- *Licuefacción: Primeramente los componentes de alto peso molecular (proteínas y carbohidratos), son degradados en sustancias solubles de bajo peso molecular (aminoácidos y azúcares).*
 - *Fermentación ácida: Seguidamente, los productos de la etapa anterior son convertidos en ácidos orgánicos menos grasos, que generan que baje el pH del sistema.*
 - *Fermentación metanogénica: Finalmente, los ácidos orgánicos son convertidos en metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de hidrógeno.*
3. *Bacterias formadoras de metano: Microorganismos estrictamente anaerobios conformados por especies distintas en forma y estructura celular, aprovechan los ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, alcoholes e hidrógeno formados por las bacterias acetogénicas reduciéndolas a metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H_2).*

Estas bacterias necesitan mayores cuidados que las formadoras de ácido, ya que sus condiciones requeridas son más restringidas: pH óptimo para su desarrollo (7 – 7.2); soportan condiciones de temperatura de 20 – 42 °C, aunque su ideal es 35 °C; se reproducen una vez en 3 o 5 días, su lento crecimiento constituye una de las bases más importantes en los proceso anaerobios en general, por tanto, el tiempo de residencia deberá ser el adecuado para que estos microorganismos no sean evacuados del sistema.

La formación de metano se lleva a cabo por dos grupos de bacterias, el primero produce metano a partir del hidrógeno y dióxido de carbono (hidrogenófilas), y el segundo convierte el acetato a metano y dióxido de carbono en solución, llamado bicarbonato (acetoclásticas), en la tabla 1 se identifica los mecanismos de formación del metano.

Tabla 1
Mecanismos típicos de formación de metano.

1. Descomposición del Ácido Acético	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$ y posteriormente $CO_2 + 8H \rightarrow CH_4 + 2H_2O$
2. Reducción de CO_2	$CO_2 + 4H_2 \xrightarrow[\text{Reductoras de } CO_2]{\text{Metanogénicas}} CH_4 + 2H_2O$
3. Descomposición del Metanol	$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$
4. Descomposición de Metilaminas	$4(CH_3)_3N + H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 6H_2O + 4NH_3$

Fuente: (Sette, 1993)

Observando la tabla anterior, se nota que estas bacterias utilizan el ácido acético como sustrato principal, aunque casi todos los ácidos volátiles pueden ser usados para la producción de metano.

2.1.3. Factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia.

Para lograr una biodegradación eficiente, es necesario que los microorganismos se encuentren en un ambiente propicio, cumplir con requerimientos nutricionales para el desarrollo de los mismos, sin la presencia de materias tóxicas que inhiban su crecimiento, por lo que deben mantenerse rangos definidos de pH y temperatura, principalmente por las necesidades de las bacterias formadoras de metano que son los organismos más sensibles del proceso. La elección de las condiciones ambientales que se debe mantener en el interior del digestor, se realiza en función de los conocimientos básicos sobre la microbiología, cinética y energía del proceso, para obtener una eficiencia óptima de la digestión anaerobia, por tal motivo es de

gran importancia conocer los valores de estos factores, que contribuyen a un mejor desarrollo de los microorganismos que se encargan de la descomposición de la materia orgánica:

- a. Temperatura: Para van Haandel y Lettinga (1994), la temperatura es el factor ambiental más importante en los biodigestores, los rangos requeridos para cada tipo de digestión varía según diferentes autores Tabla 2, por lo que se consideró valores promedios de estos, donde se tienen definidos tres tipos de digestión para el proceso anaerobio:

Tabla 2

Tipos de digestión según la temperatura de operación.

Tipo de digestión	Temperatura (°C)
Fría o psicrófila	(0 – 20 °C)
Mesófila	(20 – 42°C)
Termófila	(40 – 75 °C)

Fuente: (Ponce, 2001)

Sin embargo, existen rangos óptimos para la producción de metano, comprendidos entre 30 a 40 °C (rango mesófilico), 50 a 60 °C (rango termófilico) y en el rango psicrófilico la temperatura es por debajo de 15 – 20 °C.

2.2. Disponibilidad de materia prima para los biodigestores.

Las materias primas fermentables son muy abundantes ya que se incluyen dentro de un amplio panorama a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

A modo ilustrativo se expone directamente en la Tabla 3 las cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

Tabla 3
Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.

Especie	Peso vivo (Kg).	Kg Estiércol/día.	L/kg.	%CH ₄
Cerdos	50	4.5 – 6	340 - 550	65 – 70
Vacunos	400	25 – 40	90 - 310	65
Equinos	450	12 – 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2.5	90 - 310	63
Aves	1.5	0.06	310 - 620	60
Caprinos	40	1.5	110 - 290	-

Fuente: (Garcia, 2008)

2.2.1. Biomasa.

En general cualquier substrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales. (Perez, 2010)

Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende se busca que sea lo más alto posible.
- El substrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del substrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante.

2.3. Biogás.

Es un gas que consiste principalmente en el gas metano (55%-65%) producido por la digestión anaeróbica (en la ausencia del oxígeno molecular) de materia orgánica. (Doroteo, 2012)

2.3.1. Historia del Biogás.

Las primeras menciones del Biogás se ubican en el año de 1600, cuando fue identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Posteriormente, en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India, y en 1896, en Inglaterra las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de Biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época.

En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas cloacales colectivas. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades con lo que se llegó a inyectar en la red de gas comunal.

En los últimos 20 años se han tenido fructíferos resultados en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico, a través del material de laboratorio, que permitieron el estudio de los microorganismos que intervienen en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) para producir biogás.

Este gas se conoce por varios nombres, dependiendo de dónde se forma, dado que la digestión anaeróbica es muy frecuente en los humedales se le pone el nombre gas de pantano. Sin embargo, no importa donde se forme, todo biogás se produce con las mismas reacciones químicas para tener casi la misma composición gaseosa.

2.3.2. Composición y características del biogás.

Así como cualquier gas puro, las propiedades y características del Biogás dependen de la presión y la temperatura.

El biogás no se quema o explosiona con facilidad. No se puede quemar solo sino que necesita una mezcla de aire-biogás para que encienda. Debe formarse una mezcla homogénea para que se pueda quemar. No se puede encender con un fósforo una fuga de biogás que sale por un hueco de una membrana de cubierta de un digestor. El fósforo se apaga inmediatamente al entrar en contacto con el biogás por falta de una mezcla adecuada de oxígeno. (Contreras, 2006)

Hay que tener mucho cuidado cuando se escapa el biogás por una rasgadura en la membrana de cubierta o por alguna fuga en un tanque de almacenamiento, cuando este biogás tiene el tiempo suficiente para mezclarse con suficiente oxígeno y alcanza a formar una mezcla explosiva con un contenido de aire de 6-12%. En la figura 1 se muestra la composición del biogás de vertedero.

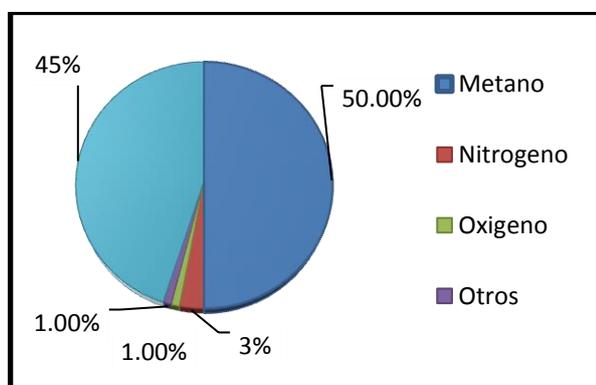


Figura 1 Composición típica del biogás de vertedero

Fuente: (Doroteo, 2012)

El Biogás de vertedero constituye el método más común de gestión de residuos, aun cuando apareciera continuamente nuevas posibilidades, esta técnica se usa siempre y cuando se disponga de terreno libre; aquí algunas de las ventajas; método económico, aplicable a una amplia variedad de residuos, recupera espacios libres por rehabilitación, fuente alterna de energía de calor y electricidad.

El poder calorífico del biogás es de 4.700 a 5.500 Kcal/m³ o 5 – 7 KWh/m³ dependiendo del contenido de gas metano (CH₄) y puede generar una cantidad de calor equivalente a 22.000 BTU/m³ o 21.5 MJ/m³ (573 BTU por pie cubico), valor que puede variar entre 19.7 y 23 MJ/m³. Su temperatura de auto ignición es similar a la del metano puro y varía de 650-750°C. Un m³ biogás que se aprovecha en un generador de energía es suficiente para generar un estimado de 2.2KWh de electricidad. (Moncayo Romero, 2011), en la tabla 4 y 5 se describen las principales característica del biogás.

Tabla 4

Elementos que contiene el biogás.

Componente	Concentración por Volumen	Características
Metano (CH ₄)	55%	Explosivo
Bióxido de Carbono (CO ₂)	35%	Acidez
Hidrogeno (H ₂)	<5%	Explosivo
Oxigeno (O ₂)	<5%	Inocuo
Mercaptanos (CH ₃ S)	1.1%	Mal Olor
Ácido Sulhídrico (H ₂ S)	<2%	Mal Olor, Corrosivo

Fuente: (Doroteo, 2012)

Tabla 5

Las características del Biogás.

Características	CH ₄	CO ₂	H ₂ – H ₂ S	Otros	Biogás 60/40
Proporciones % Volumen	55 – 70	27 – 44	1	3	100
Valor Calórico mj/m ³	35.8	-	10.8	22	21.5
Valor Calórico Kcal/m ³	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5 – 15	-	-	-	6 – 12
Temp. Ignición en °C	650 – 750	-	-	-	650 – 750
Presión crítica en mpa	4.7	7.5	1.2	8.9	7.5 – 8.9
G/l	0.7	1.9	0.08	-	1.2
Densidad relativa	0.55	2.5	0.07	1.2	0.83
Inflamabilidad vol. En % aire	5 – 15	-	-	-	6 – 12

Fuente: (Doroteo, 2012)

En la tabla 6 se presenta algunas equivalencias energéticas del biogás.

Tabla 6
Equivalentes energéticas de 1 m³ de biogás

Equivalentes energéticas de 1 m ³ de biogás		
Cantidad equivalente	Tipo de Biomasa o sustrato	Capacidad energética
0.6 Kg	De diésel	12 KW/Kg
0.7 Kg	Carbón	8.5 KW/Kg
0.6m ³	Gas natural	5.3 KW/m ³
0.24 m ³	Gas propano	25 KW/m ³
1 m ³ biogás	Generar electricidad	2.2 KWh
1 m ³ biogás	Genera 20 horas de luz equivalente a una bombilla	100W
1.43 Kg	Madera	4.5 KWh

Fuente: (Moncayo Romero, 2011)

El biogás con su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, generar calor y electricidad, en la tabla 7. Se indica la comparación del biogás versus otros gases.

Tabla 7
Características del biogás y comparación con otros gases.

Tipos de gas	Unidad	Biogás	Gas Natural	Propano	Metano	Hidrogeno
Poder calorífico	KWh/m ³	6	10	26	10	3
Peso específico	Kg/m ³	1.25	0.7	2.01	0.72	0.09
Relación a la densidad del aire		0.9	0.54	1.51	0.55	0.07
Temperatura de encendido	°C	700	650	470	600	585
Contenido de oxígeno para explosión	Vol. %	6 - 12	4.4- 15	1.7 – 10.9	4.4 – 16.5	4 – 7

Fuente: (Moncayo Romero, 2011)

De la lectura de esta tabla se desprende que el biogás tiene un poder calorífico menor que el gas natural y el propano, dependiente lógicamente del % del gas metano. Su densidad es de 1.25 kg/m³ y menos pesado que el aire. Esta característica hay que tenerla muy en cuenta cuando se ingresa en zonas en donde haya fugas de biogás, ya que el biogás no se acumula en el suelo sino que sube a la superficie rápidamente y se mezcla con el aire formado una mezcla explosiva. La temperatura de encendido del biogás es relativamente alta en el orden de 700 °C como promedio. La velocidad de encendido es de 0.25 m/s. Debido al contenido de CO₂ del biogás se puede quemar cuando se mezcla con el oxígeno entre un contenido de 6-12%. El propano e hidrogeno requiere de menores porcentajes de oxígeno para encenderse. (Moncayo Romero, 2011)

El biogás tiene un diferente contenido de humedad según el sitio en que se toma una muestra en un biodigestor. Con el aumento de la humedad disminuye el poder calorífico del biogás. Para poder comparar dos medidas del volumen del biogás hay que medir el gas con un % de humedad relativa del 0 %.

2.3.3. Ventajas del Biogás:

- La fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes y esto le trae beneficios al suelo, similares a los que se alcanzan con cualquier otra materia orgánica. Es decir, actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la capacidad de infiltración del agua y la capacidad de intercambio catiónico.
- Actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de núcleos microbianos que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo. En este sentido presenta ventajas sobre el uso directo de la materia orgánica.
- Depuración ambiental y ecológica (contaminación, calentamiento global).
- Fertilizantes de gran calidad.
- Por medio de esta técnica se contribuye a la prolongación de la vida útil de las reservas con que se cuenta.
- La materia prima es existente en cualquier lugar.
- Evita la dependencia energética del exterior.
- Se Tiene gran excedente de materia prima disponible.
- Se disminuyen las emisiones nocivas que crean el efecto invernadero.
- La materia prima es un recurso doméstico, que no está afectado por fluctuaciones de precio a nivel mundial, por las incertidumbres producidas por las fuentes de combustibles importados.

2.3.4. Desventajas del Biogás:

La actividad metabólica involucrada en el proceso metano génico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias que interviene en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cuantitativos sobre el grado que afecta cada cambio a la producción de gas en forma precisa.

Entre los factores más importantes, pueden considerarse los siguientes:

- Tipo de sustrato (nutrientes disponibles).
- Temperatura del sustrato; la carga volumétrica.
- Tiempo de retención hidráulico.
- Nivel de acidez (PH).
- Relación Carbono/Nitrógeno.
- Concentración del sustrato; el agregado de inoculantes.
- Grado de mezclado.
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

2.3.5. Purificación o acondicionamiento del biogás:

El biogás (CH_4 - CO_2) no es absolutamente puro, puesto que contiene partículas y trazas de otros gases. Todas estas impurezas deben ser removidas dependiendo del tipo de utilización que tendrá el biogás.

La purificación del biogás es importante por dos razones principales: (1) para aumentar el poder calorífico del biogás y, (2) cumplir los requerimientos de algunas aplicaciones de gas (estufa, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc.).

Las partículas sólidas en el biogás se filtran con los colectores de partículas convencionales. Para la remoción de gases traza, las técnicas utilizadas son el lavado, adsorción y secado. (Varnero, 2011)

Características físico químicas de H_2S . Es un gas sin color, de gusto azucarado y olor a huevo podrido. Su peso específico es de 1.45 kg/m^3 y (1.013 bar y $15 \text{ }^\circ\text{C}$),

volumen específico 0.699 m³/Kg (1.013 bar y 21°C) y su peso molecular es de 34.08 mol. Arde y forma una mezcla explosiva cuando su concentración llega a 6%.

A. Desulfuración.

Se utiliza varios métodos de desulfuración. Se puede establecer una distinción entre desulfuración biológica, química y física así como entre desulfuración gruesa y fina dependiendo de la aplicación.

El método o combinación de métodos utilizados dependerá de cómo se debe utilizar posteriormente el biogás. La Tabla 2.8 muestra una vista de conjunto comparativa de los métodos en consideración. Aparte de la composición del gas, el factor clave es sobre todo la tasa de flujo del biogás a través de la planta de desulfuración. Ésta puede fluctuar considerablemente, dependiendo de cómo se maneje el proceso. Luego de que se ha cargado sustrato fresco al digestor y durante la operación de los agitadores se puede observar particularmente altas tasas de liberación temporal de biogás y las consecuentes altas tasas de flujo.

Es posible que las tasas de flujo de corto plazo estén 50% por encima del promedio. Para asegurar una desulfuración confiable, es común instalar unidades de desulfuración más grandes o combinar distintas técnicas, se procede a describir algunos procesos de desulfuración.

A.1. Proceso seco de oxidación: Se utiliza para remover H₂S de una corriente de gas que puede convertirse en azufre u óxido de azufre. Este proceso se usa cuando el contenido de azufre del gas es relativamente bajo y se requiere una alta pureza. Algunos de estos métodos son: (Morero Gropelli, 2010)

- Introducción de aire/hidrógeno dentro del sistema de biogás: Este es un proceso simple y de bajo costo. No se necesitan químicos ni equipamientos especiales. Dependiendo de la temperatura, el tiempo de reacción y el lugar donde el aire se agrega, la concentración de H₂S se puede reducir en un 95% a menos de 50 ppm.

- Adsorción usando óxido de hierro: El H_2S reacciona con el óxido de hierro u óxidos para formar sulfuro de hierro. El biogás pasa a través de pelotitas de óxido de hierro, para remover el H_2S . Cuando las pelotitas se cubren completamente con sulfuro, son removidas desde el tubo para la regeneración del sulfuro. Este es un método simple pero para la regeneración se libera mucho calor. Además el polvo empacado contiene un componente tóxico y el método es sensible a biogás con altos contenidos de agua.

A.2. Procesos de oxidación en fase líquida: Este proceso se usa para el tratamiento de gases que contienen relativamente bajas concentraciones de H_2S . Este puede ser un proceso de absorción físico o un proceso de absorción químico. En los procesos de absorción físicos el H_2S . Puede ser absorbido por el solvente. Uno de los solventes es el agua. Pero el consumo de agua es muy alto para la absorción de pequeñas cantidades de H_2S . Si algunos químicos, como el $NaOH$, son agregados al agua el proceso de absorción es mejorado. Esto forma sulfuro de sodio o hidrosulfuro de sodio, que no se regenera y genera residuos líquidos. En la absorción química del H_2S . Los químicos usados pueden ser sólidos o líquidos y pueden ser aplicados en torres de contacto batch o puede inyectarse directamente a la cañería de gas. El subproducto de la reacción es generalmente separado y tratado como desecho. El producto químico es consumido y el absorbente puede ser regenerado, en la tabla 8 se indica los métodos de desulfuración

Tabla 8

Vista de conjunto de los métodos de desulfuración.

Método	Demanda de energía		Consumibles		Inyección de aire	Pureza en ppmv	¿Se cumple con DVGW?	Problemas
	Elemento	Podertérmico	Consumo	Disposición				
Desulfuración biológica en el digestor	++	o	++	++	SI	50-2000	NO	Control impreciso del proceso
Desulfuración biológica externa	-	o	+	+	SI	50-100	NO	Control impreciso del proceso
Bio-limpiador	-	o	-	+	NO	50-100	NO	Alto costo y complejidad del proceso
Precipitación del sulfuro	o	o	--	o	NO	50-500	NO	Proceso lento
Desulfuración química interna	o	o	--	--	SI	1-100	NO	Disminuye enormemente el efecto de la purificación
Carbono activo	o	o	--	-	SI	<5	SI	Grandes volúmenes de disposición

Fuente: (Jordan, 2010)

B. Eliminación de CO₂

B.1. Absorción física: Los métodos de absorción fisicoquímicos se utilizan normalmente en la purificación de biogás ya que son efectivos incluso a bajas tasas de flujo. Además este método es menos complicado, requiere poca infraestructura y es costo/efectivo. Un método fácil y económico utiliza agua presurizada como absorbente. El biogás crudo es comprimido y alimentado desde el fondo a una columna de lecho empacada y el agua presurizada es rociada desde la cima de la columna. El proceso de absorción es un proceso contra-corriente. De esta forma se disuelven el CO₂ y el H₂S en agua y son colectados en el fondo de la torre. El agua puede ser recirculada a la primera torre de limpieza. Este es quizás el método más simple de limpieza de biogás. (Morero Gropelli, 2010)

B.2. Absorción química: La absorción química implica la formación de enlaces químicos reversibles entre el soluto y el solvente. La regeneración del solvente, por lo tanto, comprende la ruptura de esos enlaces y correspondientemente una entrada relativamente alta de energía. Los solventes químicos generalmente emplean soluciones acuosas de aminas (mono-, di- o tri-ethanolamine) o soluciones acuosas de sales alcalinas (hidróxido de sodio, potasio y calcio).

B.3. Adsorción en una superficie sólida: Los procesos de adsorción involucran la transferencia de soluto en la corriente de gas a una superficie de un material sólido, que se concentra principalmente como resultado de las fuerzas físicas de Van der Waals. Los adsorbentes comerciales son generalmente sólidos granulares con grandes áreas superficiales por unidad de volumen. A partir de una buena elección del absorbente, el proceso puede remover CO₂, H₂S, humedad y otras impurezas selectivamente o simultáneamente desde el biogás. La purificación del biogás se puede también llevar a cabo usando alguna forma de silicio, alúmina, carbón activado o silicatos, que son también conocidos como tamices moleculares. La adsorción normalmente se lleva a cabo a alta temperatura y presión. Tiene una buena capacidad para remover la humedad, tiene un

diseño simple y es fácil de operar. Pero es un proceso costoso, con altas caídas de presión y altos requerimientos de calor.

B.4. Métodos de conversión química: Este método se utiliza cuando se quiere obtener una alta purificación en el gas producido. Esto reduce la concentración de gas indeseable a niveles trazas. Normalmente el método de conversión química se utiliza luego de una buena remoción que se logró con otros métodos. Uno de dichos procesos de conversión es la metanización, en que el CO_2 y el H_2S son convertidos catalíticamente en metano y agua. El proceso de conversión química es muy caro.

2.3.6. Aprovechamiento del Biogás.

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. La Figura 2 resume las posibles aplicaciones. (Doroteo, 2012)

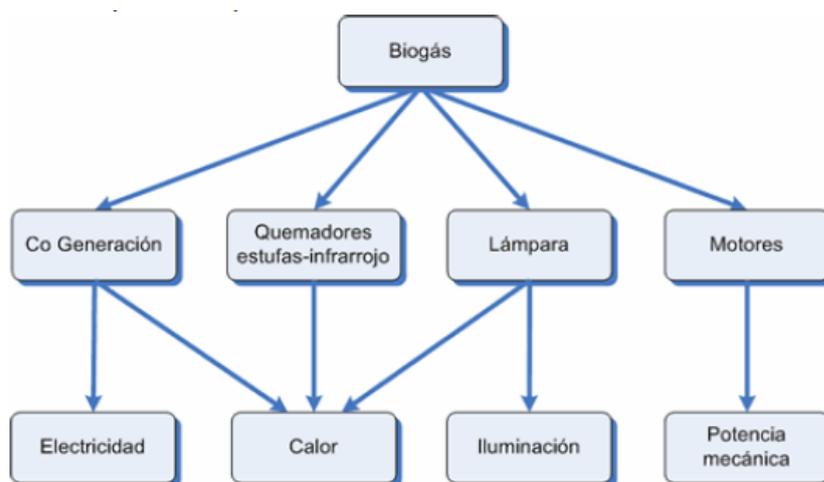


Figura 2 Diferentes aplicaciones del biogás.

Fuente: (Doroteo, 2012)

El biogás, al igual que otros gases como el GLP (licuado) y el gas natural, tiene una gran variedad de usos, tanto doméstico como industrial. Su principal uso doméstico es en las cocinas y el alumbrado, por cuanto requiere ser purificado. Los usos más importantes del biogás para determinar la demanda energética del usuario son:

- a. Cocinas. Se emplea con una presión de 75-90 mm de columna de agua (CA), a razón de 0,38-0,42 m³ por persona-día. Para presiones inferiores el per cápita debe calcularse a razón de 0,5 m³/día.
- b. Alumbrado. Si se utiliza una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W), esta consume de 0,11 a 0,15 m³/h de biogás, requiriendo una presión de 70 a 85 mm de CA.
- c. Calderas. En dependencia del tamaño del quemador, los consumos serán:
 - Diámetro del quemador 50 mm: 0,32 m³/h.
 - Diámetro del quemador 100 mm: 0,46m³/h.
 - Diámetro del quemador 150 mm: 0,63m³/h.

En la tabla 9 se muestra un resumen del consumo de biogás en diferentes artefactos.

Tabla 9
Rendimiento de los artefactos por medio de biogás

Artefacto	Consumo	Rendimiento %
Quemador de cocina	300 – 600 l/h	50 – 60
Lámpara a mantilla (60 W)	120 – 170 l/h	30 – 50
Heladería de 100 L	-30 – 75 l/h	20 – 30
Quemador de 10 Kw	2 - 3 l/h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 – 99

Fuente: (Doroteo, 2012)

Algunos de los índices de consumo que también pueden tomarse como base de cálculo, cuando el biogás se utiliza para cocinas, se exponen en la Tabla 10.

Tabla 10
Índices de consumo de gas según el tipo de cocina y su uso

TIPO DE USO	CONSUMIDORES/USUARIO/DÍA
COCINA COLECTIVA (ALMUERZO).	0,2
COCINA COLECTIVA (ALMUERZO Y CENA)	0,3
COCINA INDIVIDUAL (USO DOMÉSTICO)	0,45

Fuente: (Guardado, 2007)

2.3.7. Sopladores para gas (biogás).

Un soplador es cualquier máquina capaz de desplazar un gas o vapor desde una zona hacia otra, forzándolo a circular a través de un venturi (o conducto de menor dimensión).

Se utilizan sopladores para hacer circular el gas dentro de un espacio, para introducirlo o evacuarlo, o para moverlo a través de ductos de un sistema de conducción. Los tipos de sopladores incluyen sopladores de aspas, de ductos y centrífugos. (Mott, sexta edición 2006)

2.3.8. Tipos de Sopladores

Los tipos más comunes de sopladores son:

A. Soplador de flujo axial.

Contiene una serie de aspas rotativas en forma de abanico que aceleran el gas de un lado al otro, comprimiéndolo. Su función y acción es parecida a la de las turbinas.

B. Soplador centrífugo.

Está formado por una cubierta metálica, la rueda de un soplador y las aletas metálicas.

Las aspas o aletas posicionadas sobre un único eje que gira, succiona el aire/gas por una entrada amplia y lo aceleran mediante fuerza centrífuga para ser descargado del lado contrario.

C. Soplador de canal lateral

El soplador de canal lateral aumenta la presión del gas aspirado al crearse en el canal toroidal periférico una serie de remolinos causados por el empuje centrífugo del rotor, que se encuentra acoplado directamente al eje del motor.

Al girar el rotor, los alabes empujan el gas hacia adelante y también hacia el exterior debido a la fuerza centrífuga, produciendo un movimiento helicoidal. Durante este movimiento, se vuelve a comprimir el gas varias veces con el consecuente incremento de presión a lo largo del canal. (Repicky, 2015)

Descripción:

Los sopladores de canal lateral, pueden utilizarse tanto para presión positiva o para vacío y en aplicaciones que requieran gas.

Trabajando con presión positiva, se utilizan en procesos donde se requieran rangos de presión de hasta 7 psi, y trabajando en vacío, diferenciales de hasta 6.2 psi.

Características:

Las partes que comprende un soplador de canal lateral se describe según la figura 3.

1. Motor eléctrico para servicio continuo
2. Silenciador compacto integrado
3. Base para montaje y absorción de impactos
4. Sello para protección del motor eléctrico
5. Rodamientos lubricados de por vida con grasa especial de alta velocidad
6. Rotor de fundición de aluminio

Los beneficios del soplador de canal lateral son los siguientes.

1. Fluido transportado 100% libre de aceite.
2. Bajo nivel sonoro.
3. Tamaño y peso reducido.
4. Niveles de vibración prácticamente inexistentes.
5. Aptos para uso continuo.
6. Facilidad de instalación.
7. Flujo sin pulsaciones.
8. No hay contacto entre las partes fijas y móviles.
9. Mínimo mantenimiento.

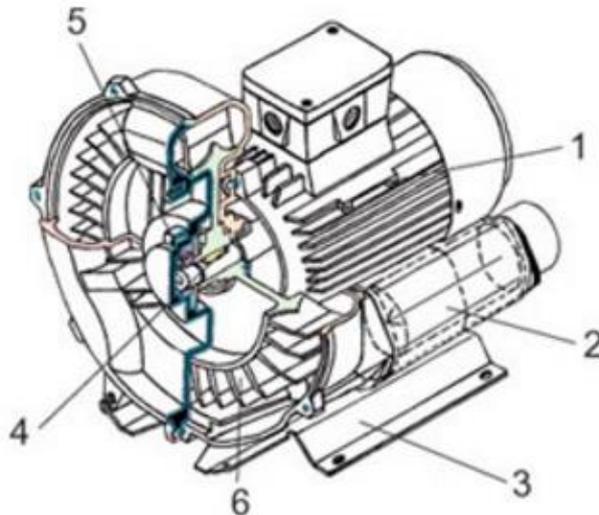


Figura 3 Soplador de canal lateral.

Fuente: (Repicky, 2015)

2.3.9. Tren de calibración de biogás:

Antes del aprovechamiento del biogás para generar energía calorífica hay que instalar un tren de calibración del biogás para el control de presiones, caudales y la calidad del biogás.

Para aprovechar el biogás en cocinas industriales además de realizar las adaptaciones respectivas se tiene que cumplir con ciertas condiciones técnicas

relativas al volumen, contenido y calidad del CH₄; presión de servicio, seguridad y control.



Figura 4 Tren de calibración de biogás y sus componentes

Fuente: (aqualimpia, 2013)

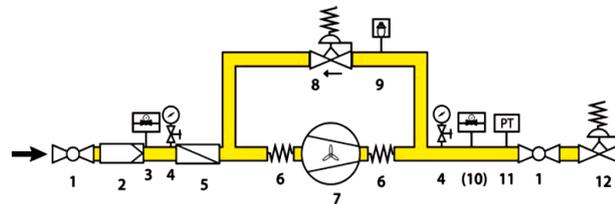


Figura 5 Tren de calibración de biogás y sus componentes

Fuente: (aqualimpia, 2013)

Los requerimientos mínimos del tren de calibración son los siguientes:

- 1) Válvula de cierre.
- 2) Filtro de biogás.
- 3) Sensor de presión mínima (vacío).
- 4) Manómetro con llave de paso.
- 5) Válvula check.
- 6) Compensadores.
- 7) Soplador atex.
- 8) Válvula anti explosión.
- 9) Control de temperatura máxima.
- 10) Sensor de presiones máximas.
- 11) Medición de presiones máximas y mínimas.
- 12) Regulador de presión.

2.3.10. Línea de conducción de biogás.

A. Sistema de tubería.

Luego de estimar la cantidad de biogás a transportar y la presión requerida, la cual será determinante a la hora de diseñar el sistema de redes de tuberías que transportan el biogás desde el digestor a los diferentes dispositivos hasta la aplicación o utilización de quemadores, hornillas, motores o generadores de energía eléctrica. Con un buen diseño de la red e implementación de los dispositivos de tratamiento se busca una buena calidad del biogás para las diferentes aplicaciones y también el mínimo de pérdidas, las cuales garantizan mantener la presión del biogás dentro del sistema para así poder transportarlo a mayores distancias de su lugar de generación, así como la eliminación de posibles fugas que puedan generar riesgo de incendio y explosiones en la planta.

B. Caracterización del sistema de tuberías para el transporte de biogás.

Las presiones de operación en la mayoría de digestores no exceden el valor de 1 psi, es decir 30 pulgadas de columna de agua, o en su defecto presiones menores a este valor, lo cual se considera presiones relativamente bajas en digestores en los cuales no se utilizan sopladores para transportar el biogás de un lugar a otro. Caso contrario, para los digestores en los cuales se utilizan sopladores, se manejan presiones alrededor de 500 psi, las cuales son presiones altas. Sea cual sea la presión de operación del sistema y del digestor, es necesario que el diseño del sistema de tuberías deba garantizar la estanqueidad en toda la red con el fin de evitar pérdidas en la presión de operación del sistema de tuberías y las consecuentes fugas que en principio son complicadas de localizar. Además de ser una red capaz de asegurar la operatividad de la planta, por lo general el sistema debe estar dotado de una válvula de alivio para proteger al sistema de sobrepresiones, lo cual es lo más recomendable.

C. Materiales

A continuación se describen diferentes tipos de materiales que pueden utilizarse para la elaboración de sistemas de tuberías orientados al transporte de biogás. Se hace una comparación entre las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, en la tabla 11 se indica ventajas y desventajas de materiales de tuberías.

Tabla 11

Ventajas y desventajas de materiales de tuberías

Material	Ventajas	Desventajas
Plástico (PVC,CPVC)	Fácil de trabajar Relativamente barato	Fácil de quebrarse o fracturarse. Válvulas más caras que las de galvanizado. Está sujeta a la degradación causada por los rayos solares ultravioleta
Acero Galvanizado	Rígido, menos posibilidades de fracturarse	Se oxida, tubería más cara que la de PVC o plástico.
Manguera Plástica	Fácil de conectar a los equipos	Cara, se puede dañar fácilmente
Plástico (ABS)	Ninguna	No recomendado

Fuente: (Hidalgo, 2010)

Se recomienda para la mayoría de aplicaciones con biogás utilizarse tuberías de PVC. (Alfredo, 2010)

D. Trampas de agua y pendientes de la tubería.

El gas proveniente de un biodigestor sale generalmente saturado con vapor de agua, parte del cual puede condensarse en la tubería, lo que causa obstrucciones si la tubería no ha sido correctamente instalada. (Guardado, 2007)

El agua condensada en las tuberías debe escurrir hacia los puntos bajos donde están localizadas las trampas de agua. De acuerdo con la topografía del terreno y la longitud del trayecto, varía la cantidad de trampas requeridas. Una pendiente de 2 % es suficiente para la instalación. El diámetro mínimo para la conducción deberá ser de ¾ pulgadas, mientras que para las instalaciones dentro de la vivienda es de ½ pulgada.

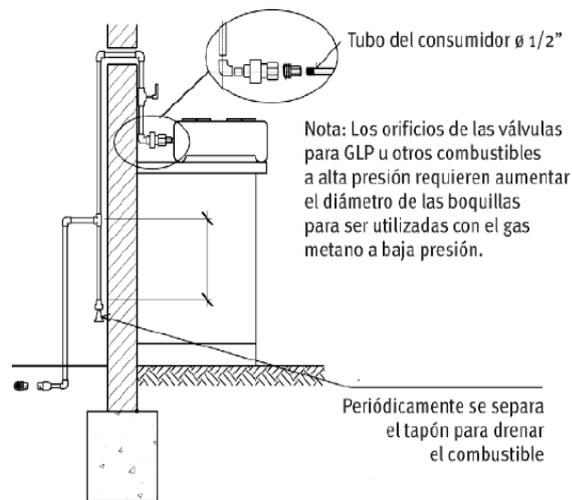


Figura 6 Instalación de una trampa de agua a la cocina.

Fuente: (Guardado, 2007)

Existen diferentes tipos de trampas de agua, como la de tipo cerrado con una válvula de bola para evacuar el agua condensada (siendo el tipo más usado); mientras que la de tipo abierto, como la trampa en V, debe tener una altura que compense la presión de la planta. En la Figura 6 se muestra la trampa de agua para la cocina. Las trampas de agua deben ser inspeccionadas periódicamente por el usuario.

Para las válvulas de cierre se recomienda el uso de las de bola, ya sean metálicas o de PVC, y se debe chequear su hermeticidad contra el escape del gas. Se deberá colocar una válvula a la entrada de cualquier dispositivo para consumo del gas, así como a la salida del biodigestor.

Como regla, en las grandes plantas son colocadas trampas contra incendio para evitar su propagación a través de la tubería. Estas trampas consisten en sellos hidráulicos a través de los cuales pasa el gas en una sola dirección (no permiten su circulación en sentido contrario).

E. Reducción del contenido de sulfuro de hidrógeno.

El H_2S es necesario eliminarlo si su concentración es mayor de 2 %, por las molestias que ocasiona y su alto poder corrosivo. Esta eliminación se realiza por

absorción con hidrato férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, el que puede ser regenerado por exposición al aire. En la Figura 7 se muestra una trampa de ácido sulfhídrico.

En el interior de la trampa de H_2S se coloca viruta de hierro obtenida en un taller de tornería.

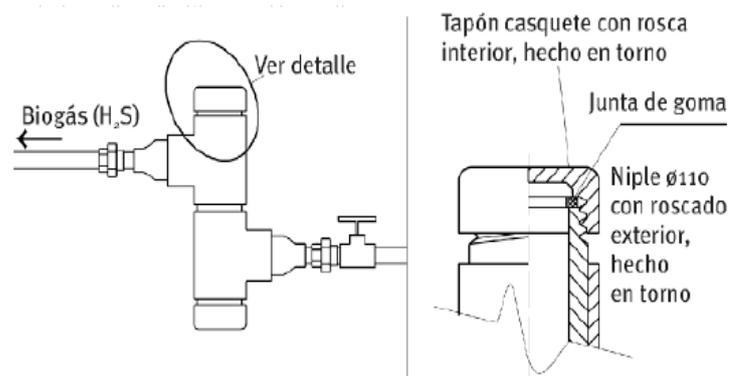


Figura 7 Montaje de una trampa de ácido sulfhídrico

Fuente (Guardado, 2007)

La reducción del CO_2 es complicada tecnológicamente, para lo cual se emplea el hidrato de cal, y se obtiene como subproducto final del carbonato de calcio. La reducción del CO_2 se hace necesaria en plantas donde se comprima el gas en balones, para uso posterior.

2.4. Cocina industrial

La cocina industrial es aquel establecimiento de alimentos y bebidas, cuyo objetivo es dar servicio a grupos extensos, y regularmente operan para dar servicio de comedores de empresas, Universidades.

Para el servicio de cocina industrial, no existe tanto protocolo como el servicio en un restaurante, pues en la cocina industrial el único objetivo es brindar un servicio a sus trabajadores. (Industrial, 2015)

2.4.1. Cocina a biogás.

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores.

La amplia disponibilidad de este tipo de equipos hace promisorio e interesante su utilización a gran escala. Siendo estas de hierro fundido con inyectores de bronce de cañón y su eficiencia de combustión es de 60%. (YOLIMA NARVAEZ GUEVARA, 2007)

2.4.2. El uso del biogás en la cocina

El biogás puede usarse para cocinar, en sustitución de la leña, o gas propano. Para hacer estas situaciones se puede proceder de dos diferentes maneras:

1. Construir una estufa especial, o
2. Si se cuenta con una estufa comercial de propano, modificarla para usar en ella el biogás.

2.4.3. Estufas especiales para biogás

La estufa de barra es la que más usada, por su bajo costo y su facilidad de construcción; a esta se le instalan quemadores especiales de bajo costo que han sido diseñados tomando en cuenta el poder calorífico y la forma especial de combustión del biogás (longitud de la llama, presión de trabajo, etc); el tamaño de las hornillas y de los quemadores se escogen de acuerdo al tipo y tamaño de los trastos que se usen y la clase de alimentos que se consuman en la empresa. También puede fabricarse estufas pequeñas de metal que funcionen con biogás. (ICAITE, 1985)

El quemador más grande es el llamado tipo estrella; es apropiado para una hornilla, y también para la hornilla en que se usen recipientes grandes. Este quemador se fabrica de pedazos de tubería de hierro galvanizado unidos con soldadura según la figura 8.

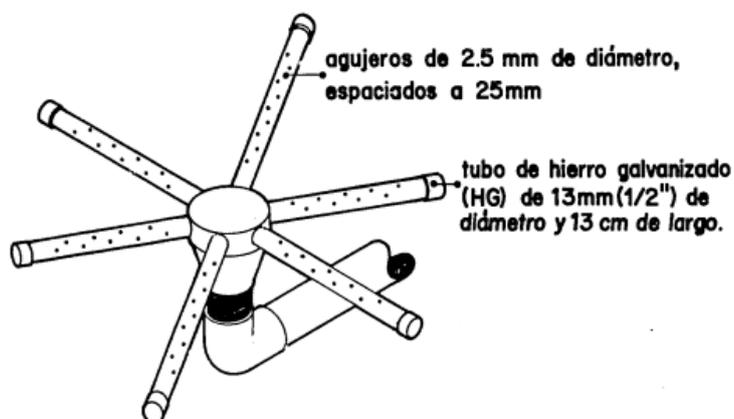


Figura 8 Quemador estrella.

Fuente: (ICAITE, 1985)

El otro tipo es el de quemador para recipientes pequeños (quemador campana) que se fabrica de accesorios de hierro galvanizado como muestra en la figura 9.

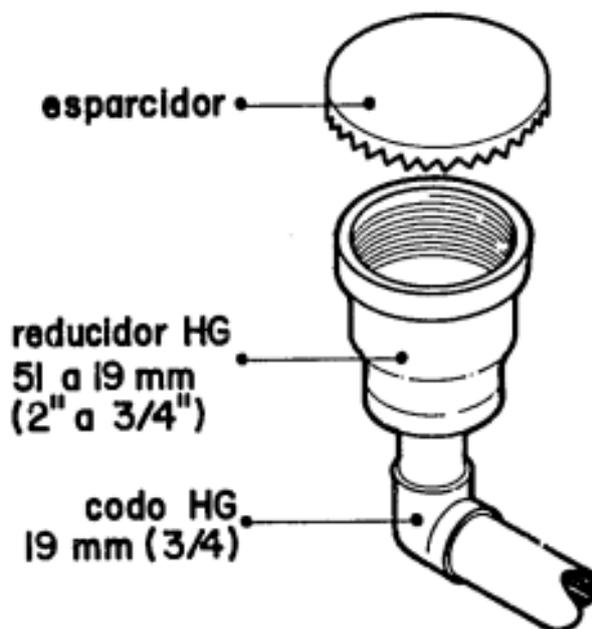


Figura 9 Quemador campana

Fuente: (ICAITE, 1985)

Los quemadores campana además de ser muy resistentes y fáciles de hacer, son muy económicos. Consisten en reductores tipo campana, de un tamaño conveniente para los trastos de la cocina que se usan. Cada reductor es coronado por un

esparcidor de gas, de los mismos que se usan en las estufas de propano, y que pueden adquirirse en los talleres de reparación de estufas.

En estos quemadores se puede usar una mezcla de aire y biogás, la eficiencia calorífica es alta, y por lo tanto es preferible. El aire necesario para producir la mezcla apropiada se obtiene mediante un orificio hecho en la tubería que alimenta al quemador como lo indica la figura 10.

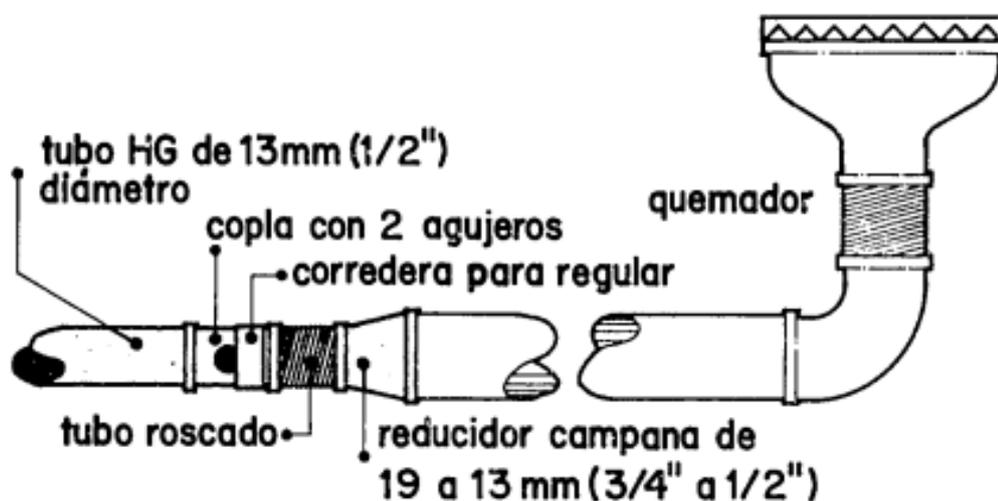


Figura 10 Vista de mezclador y el quemador

Fuente: (ICAITE, 1985)

2.5. La seguridad de la instalación

Es absolutamente necesario incluir los conceptos de seguridad desde el diseño del proceso; pues las obras con biogás deben contener una leve sobrepresión (200 a 500 mmca, a veces más), la instalación debe ser conforme a las normas y estándares extranjeros (NFPA 820 – SUVA-CNA-INSAI), pues no existe todavía una reglamentación Ecuatoriana que considere el manejo del biogás en sitio industrial. Es también aconsejable que el estudio de seguridad incluya un plano de reconocimiento de las zonas con riesgo para determinar la clasificación de los equipos, un estudio tipo HAZOP para listar todos los riesgos operativos y fortuitos que pueden ocurrir con el fin adecuar la instalación “a todo evento”, y finalmente prever la instalación de

accesorios mecánicos de seguridad, como válvulas de alivio presión / vacío, y arresta llamas. (Bradfer, 2001)

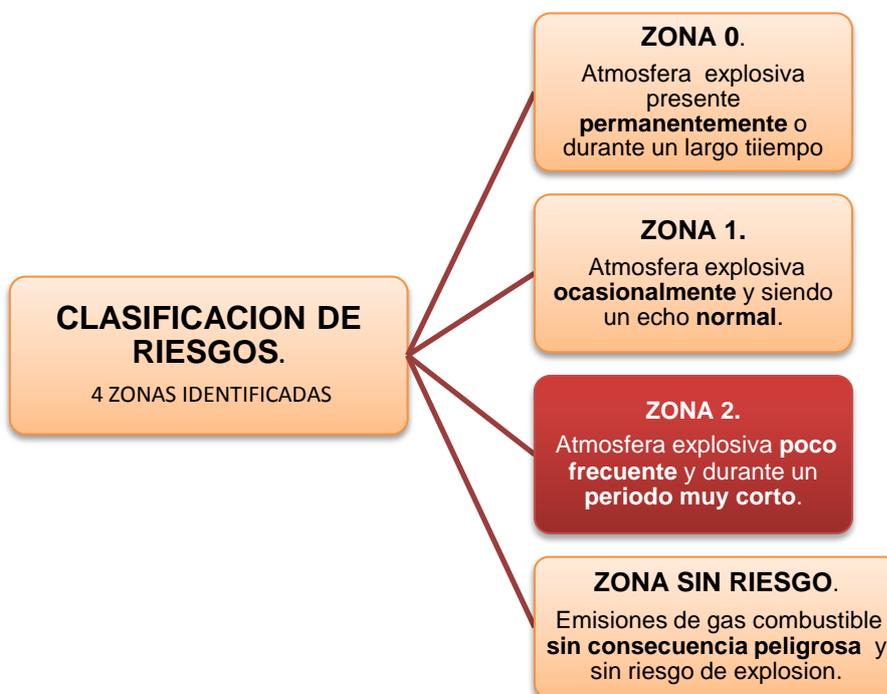


Figura 11 Definición de las Zonas con Riesgo

Fuente: (Bradfer, 2001)

2.6. Seguridad en biodigestor

La mayoría de los diseñadores y operarios de las plantas de biogás no toman en cuenta que están produciendo y manipulando un combustible de alto poder calorífico y por lo tanto no toman las medidas y precauciones necesarias para que no ocurran este tipo de accidentes. Se toma muy a la ligera el tema de seguridad.

Se debe siempre tener en cuenta que un biodigestor es una planta de generación de combustible y como tal, debe ser diseñada, construida y operada siguiendo ciertas normas de seguridad para evitar accidentes que pueden derivar en explosiones,

emanación de gases o derrames de lixiviados y poner en peligro la vida de personas o la propiedad.

Los problemas comunes que se encuentran generalmente en la operación de biodigestores se los puede resumir como sigue.

- El fermentador se lo sobre alimenta con sustrato y no se conoce con certeza la cantidad de biomasa contenida en la mezcla.
- Falta de medidores para el control de cantidad de sustrato con que se alimenta la biodigestor.
- Inadecuada e incorrecta instalación de generadores.
- Falta de control de fugas de biogás.
- No se realizan mediciones de la producción de biogás ni se realizan análisis de contaminantes.
- Falta de un pararrayos
- No instalan sopladores y motores anti explosivo (ATEX).
- No se instalan válvulas de control de presiones (vacío y sobre presión)
- No se tienen normas de seguridad y se desconoce los riesgos que involucra la operación de este tipo de proyectos.
- No se ha realizado un análisis de riesgos en la operación.
- No hay implementos de seguridad como corta llamas, válvula antiexplosivo ni extinguidores (en caso de accidentes).
- No existe botiquín de primeros auxilios.
- No hay señalización.
- No existe un sistema de control.

2.6.1. Onda de explosión.

La explosión del biogás puede generar una onda de explosión con una presión de cerca de 6 bares en pocos milisegundos. Esta onda de explosión puede matar a personas que estén cerca del área de explosión y destrozar completamente el digestor y todo el equipo electromecánico. De igual manera la dispersión de partes del

digestor por causa de la onda de explosión puede también ocasionar grandes destrozos en los alrededores.

El fuego y la onda de calor pueden también ocasionar quemaduras a las personas e incendiar las instalaciones.

2.6.2. Deflagracion.

Durante una deflagración ocurren las mismas reacciones que durante una explosión, pero con una reducida presión de la onda de expansión debido a las pequeñas cantidades de biogás que explotan. Los daños que ocasiona la deflagración pueden ser de menor magnitud que los que produce una explosión debido a la reducida fuerza de la onda de expansión.

2.6.3. Sistema Pararrayo.

La caída de un rayo en el biodigestor, gasómetro o casa de máquinas puede ocasionar graves daños a personas. También puede ocasionar la explosión del biodigestor o el gasómetro. Es imprescindible que se instale un sistema de pararrayos en el biodigestor.

2.6.4. Fuentes de ignición.

Un incendio puede ocasionar muertes así como la destrucción total de las instalaciones. Si ocurre un incendio en lugares cerrados (casa de máquinas) puede haber también muertes por asfixia y la onda de calor. Es importante que en todo caso se sigan las normas y recomendaciones contra incendios existentes en cada país. Es recomendable que se consulte al Cuerpo de Bomberos respectivo.

El peligro de incendio se refiere a una condición que puede construir al inicio o propagación del fuego o a la puesta en peligro de la vida o la propiedad. Los peligros de ignición son condiciones bajo las cuales algo puede arder (combustible) esta o

puede estar demasiado cerca de algo que está caliente (fuente de energía). Los peligros de incendio pueden llevar a considerable daño y someter a personas expuestas a un riesgo indebido.

La ignición es la iniciación de la combustión y se origina con el calentamiento del biogás por una fuente de calor o por la explosión de un generador o motor o por una de las siguientes fuentes.

- Electricidad: 23%
- El Fumar: 18/%
- Fricción: 10%
- Recalentamiento de materiales: 8%
- Superficie calientes: 7%
- Llamas de quemadores: 7%
- Chispas de la combustión: 5%
- Ignición espontanea: 4%
- Cortes y soldadura: 4%
- Exposición:
- Incendios premeditados: 3%
- Chispas mecánicas: 2%
- Fricción: 10%
- Sustancia derretidas: 2%
- Acción química: 1%
- Chispas estáticas: 1%
- Rayos: 1%

Las técnicas más comunes de control de fuego son la detección y alarma, la supresión automática y el manejo estructural del fuego. Los sistemas de supresión automática de incendio están diseñados e instalados para controlar o extinguir fuegos no deseados, siendo los más comunes los sistemas automáticos de sprinklers. Se recomienda la instalación de sensores de uno en la casa de máquinas.

Se recomienda seguir las siguientes normas y precaución para evitar incendios en el exterior o en el cuarto de máquinas o en cuartos donde se puedan producir fugas de biogás.

- No fumar en las instalaciones ni prender fuego.
- Evitar el calentamiento tanques que almacenan el biogás a temperaturas > 100°C.
- Todos los equipos electromecánicas como interruptores, motores, bombas, tableros instalados en cuartos cerrados cumplirán las normas anti explosivas (ATEX).
- La instalación eléctrica se debe realizar con conductores de cobre blindado y accesorio anti defragantes. Ajustándose al grado de clasificación 3 y 6 de instalación de riesgo de incendios o explosión.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGÁS MEDIANTE TUBERÍA PVC.

3.1. Situación actual de la Hacienda San Francisco.

La Hacienda San Francisco se encuentra ubicada al norte de la Provincia de Cotopaxi a 400 metros de la piedra Colorada como muestra la figura 12, la Hacienda tiene como actividad la producción de leche y de rosas para exportación y cuenta con 300 personas que elaboran, en sus instalaciones cuenta con un biodigestor que tiene una capacidad de producir $1200 \text{ m}^3/\text{dia}$ de biogás, el cual podría ser utilizado como sustituto del GLP.



Figura 12 Ubicación de la Hacienda San Francisco

Fuente:(earth.google.com, 2014)

3.2. Biodigestor de Alimentación Continua En la Hacienda San Francisco.

En el caso de los biodigestores de carga continua se agrega una pequeña cantidad de materias primas cada día. De este modo, el índice de producción, tanto de biogás como sedimentos, es continuo y digno de

confianza. Los biodigestores de carga continúa son especialmente eficientes cuando las materias primas consisten en un suministro regular de desechos fácilmente digeribles, procedentes de fuentes, tales como estiércol de animales, plantas marinas, vegetación, o algas de estanques de producción. (Doroteo, 2012)

En la figura 13 se presenta un esquema de flujo simplificado de la planta de biogás.

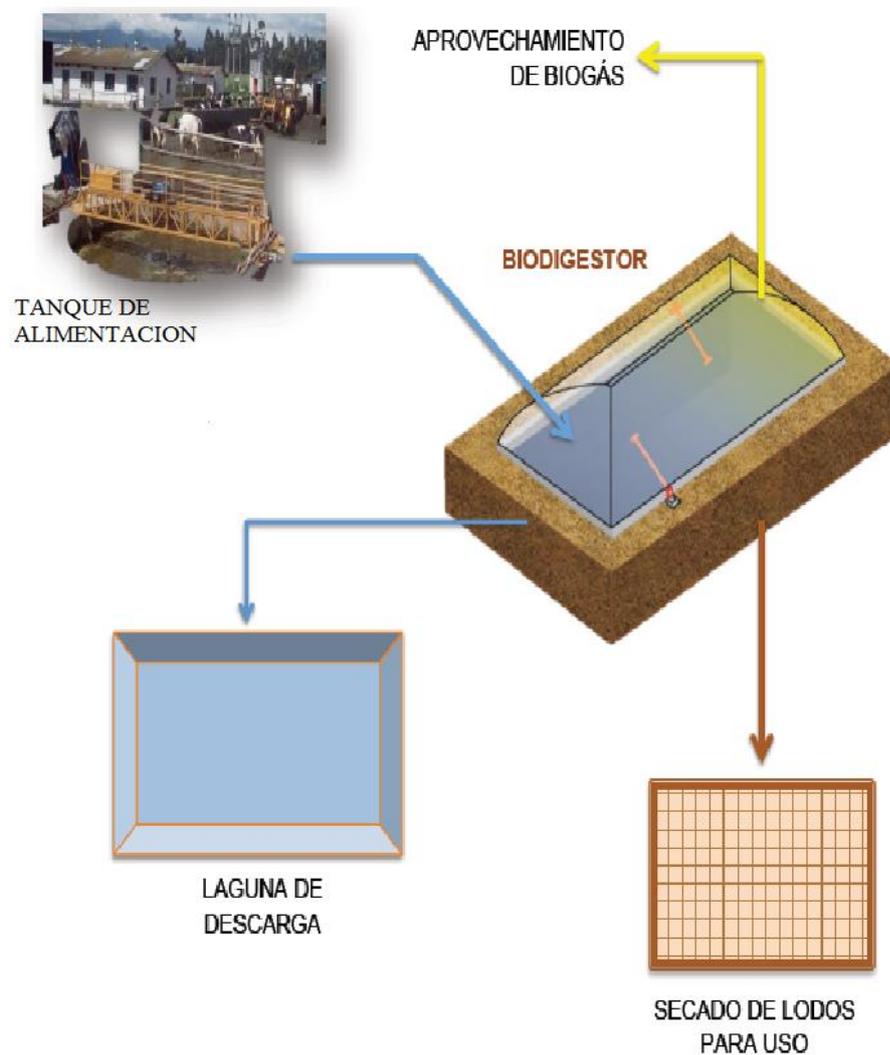


Figura 13 Esquema de Biodigestor

Fuente: (Aqualimpia, 2008)

3.2.1. Componentes de un Biodigestor de Alimentación Continua En La Hacienda San Francisco.

A. Tanque de mezcla y alimentación.

El tanque de mezcla se encuentra ubicado al pie del establo donde se producen los desechos. En este caso se logró ubicar el tanque en el sitio más óptimo posible. De esta manera se reducen los costos de transporte o bombeo de la biomasa. Generalmente se recomienda siempre que el tanque de mezcla se ubique lo más cerca de la fuente de producción de los desechos orgánicos. (Aqualimpia, 2008)

El tanque de mezcla tiene un volumen de $30m^3$ con un diámetro de 5m y 1,5 de profundidad. Debido al alto contenido de fibras, pajas y sólidos que tiene el estiércol de ganado y la gallinaza se optó por Instalar un agitador de eje vertical con aspas de hacer inoxidable. El motor del agitador es de 3 kW. La mezcla de biomasa se descarga a un pozo en el cual se ha instalado una bomba de 5 kW para la alimentación hacia el biodigestor como se muestra en la Figura 14.



Figura 14 Tanque de mezcla y alimentación

Fuente: (Aqualimpia, 2008)

B. Tanque de Digestión.

Debido a que se trata de una zona fría ubicada a una altura de 2.900 m.s.n.m se recomendó la construcción de un biodigestor calefaccionado tipo laguna con fondo y

cubierta de membrana flexible de caucho con un volumen de $1300 m^3$. El biodigestor se construyó mitad bajo tierra y sobre un talud debido a la poca profundidad del nivel freático. En la Figura 15 se muestra el biodigestor en su etapa de funcionamiento.



Figura 15 Biodigestor de alimentación continúa.

Fuente: (Aqualimpia, 2008)

C. Laguna de Descarga.

Sitio de descarga del biol generada después del proceso de digestión anaerobia. En la Figura 16 se muestra la laguna de descarga de biol.



Figura 16 Laguna de Descarga

Fuente: (Aqualimpia, 2008)

D. Secado de Lodos para uso Agrícola.

Lecho donde se seca los lodos que se extraen periódicamente del biodigestor. En la Figura 17 se muestra la laguna de Secado de lodos.



Figura 17 Secado de Lodos para uso Agrícola

Fuente: (Aqualimpia, 2008)

3.3. Flujo grama con el procedimiento para el diseño de la línea de conducción del biogás.

3.3.1. Diagnóstico del área.

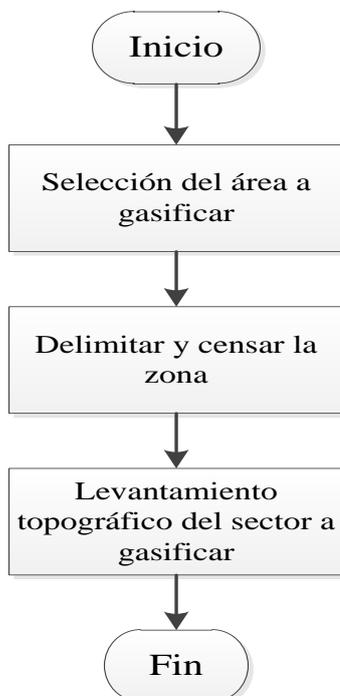


Figura 18 Diagnóstico del área.

Fuente: (Cunalata, 2014)

3.3.2. Parámetros de diseño.

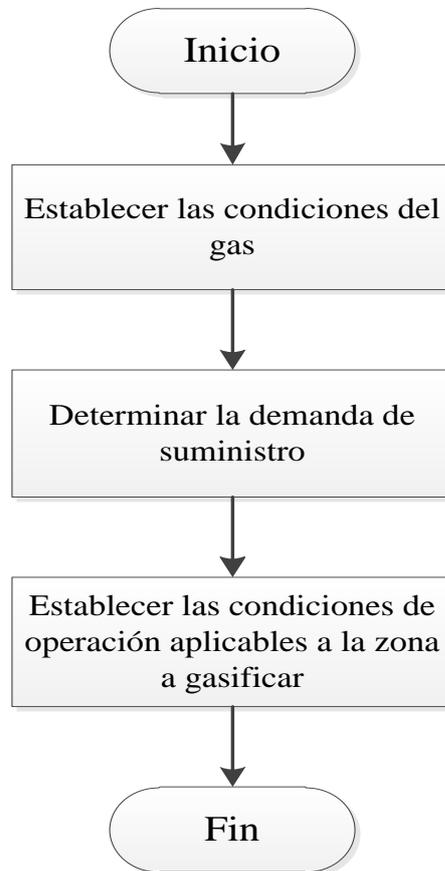


Figura 19 Parámetros de diseño

Fuente: (Cunalata, 2014)

3.3.3. Cálculo de la red a través de los modelos matemáticos.

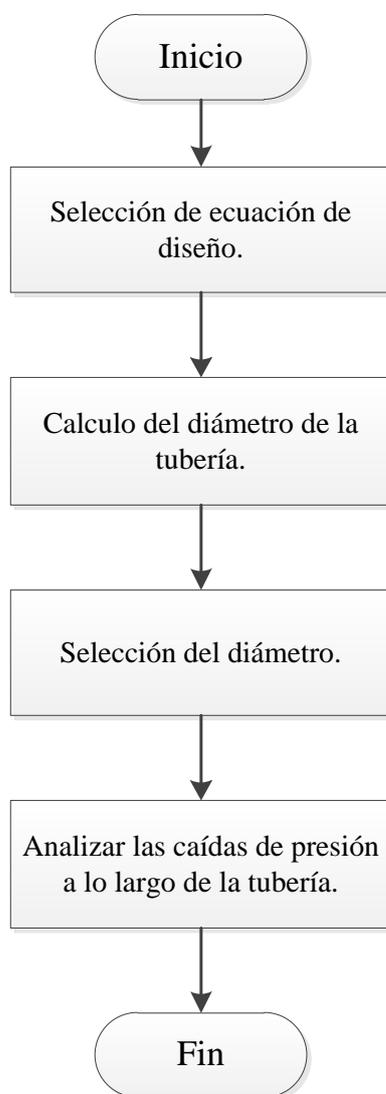


Figura 20 Cálculo de la red a través de los modelos matemáticos

Fuente: (Cunalata, 2014)

3.4. Descripción del área a gasificar.

La empresa consume 10 cilindros de 15 Kg de GLP semanales para la elaboración de alimentos y actualmente tiene un costo 24 USD c/u, es decir mensualmente tienen un egreso de 1040 dólares, estos gastos podrían ser evitados mediante la implementación de un sistema de transporte de biogás.

3.4.1. Levantamiento Topográfico en la Hacienda San Francisco.

Para tener una referencia exacta de la distancia existente del biodigestor y la cocina se realiza un estudio topográfico el cual arroja los siguientes resultados.

Tabla 12

Resultado de levantamiento topográfico

Distancia entre Biodigestor y Cocina	900 m
Pendiente entre Biodigestor y Cocina	1.2 m
Porcentaje de la inclinación	2%

En el ANEXO B-1 se muestra el estudio topográfico.

3.5. Diseño de la línea de distribución del biogás para uso doméstico.

3.5.1. Obtención de datos.

3.5.2. Producción de biogás del digestor

Para la producción actual de biogás en la Hacienda San Francisco se recopiló información mediante una bitácora, de producción donde se realizó un registro diario de los valores marcados en el medidor de gas instalado, teniendo un promedio de producción de biogás de $23 \text{ m}^3/\text{h}$, como se puede observar en la tabla 3.2.

Tabla 13

Control de producción de biogás en la Hacienda San Francisco

Medidor de gas (Valor Registrado)	Observación (días)	Producción (m^3)	Producción diaria ($\text{m}^3/\text{día}$)	Producción hora (m^3/h)
361251,70	1	582,99	582,99	24,29
361834,69	3	1523,73	507,91	21,16
363358,42	3	1475,33	491,78	20,49
364833,75	3	1674,09	558,03	23,25
366507,84	8	4515,26	564,41	23,52

Fuente: (IZA, 2015)

El biogás que producen está siendo expulsado al medio ambiente por tal motivo es muy perjudicial al medio ambiente.

3.5.3. Cromatografía de biogás en producción.

La cromatografía fue realizada a una atmosfera y a temperatura de 20 °C, como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14

Cromatografía de biogás, Hacienda San Francisco.

Componente	Biogás	
	% Peso	% Moles
Nitrógeno	9.22	8382
Metano	32.10	53.72
<i>CO₂</i>	56.71	34.51
Agua	1.98	2.94
Poder Calorífico inferior a 25 °C [<i>Btu/pe³</i>]		544.08

Fuente: (Escuela Politecnica Nacional, 2013)

3.5.4. Determinación de la demanda para el área a gasificar.

Conociendo el área de estudio se procedió a la realización de un estudio de consumo de gas glp, con la finalidad de saber cuánto de glp está consumiendo y realizar los cálculos necesarios para remplazarlo con el biogás.

Para determinar la cantidad de biogás requerido para satisfacer la demanda de consumo de gas glp, se procedió a medir la cantidad de glp con un gasómetro que se muestra en la figura 21, y obteniendo los resultados que se muestra en la tabla 15.

Tabla 15

Medición del consumo de GLP.

QUEMADORES ENCENDIDOS	PRESIÓN (psi)	CAUDAL ($m^3/6h$)
1 quemador	0.4	0.42
2 quemadores	0.35	0.84
4 quemadores	0.31	1.68



Figura 21 Medidor de gas

Fuente:(KumHo Mod, 2014)

3.5.5. Aprovechamiento de biogas en la cocina.

Para calcular la cantidad de biogas que se necesita para remplazar el consumo de GLP en la cocina industrial se usa la ecuacion 3.1.

En la tabla 16 se detalla el consumo de GLP medido en la cocina industrial que posee la Hacienda San Francisco con su respectivo equivalente en consumo de biogas.

Tabla 16

Consumo de Biogas.

Cocina	Tiempo de funcionamiento diario h/día	Consumo de GLP 2138.06 BTU/ft ³ en m ³ /6h	Consumo de biogás 544.08 BTU/ft ³ en m ³ /6h
4 quemador	6	1.68	6.6

consumo en poder calorifico

$$= (\text{consumo del GLP}) \times (\text{poder calorifico GLP})$$

Ec. 1 Consumo poder calorífico.

$$\text{consumo GLP poder calorifico 100\%} = 1.68 \frac{m^3}{6h} \times 75495.16 \frac{BTU}{m^3}$$

$$\text{consumo GLP poder calorifico 100\%} = 126831.86 \frac{BTU}{6h}$$

En la ecuación 3.2 se calcula el flujo del biogás en $m^3/6h$ al 100% de consumo en la cocina industrial.

$$\text{flujo del biogás} = \frac{\frac{\text{BTU}}{6h} \text{ GLP Poder Calorifico (consumo GLP poder calorifico 100\%)}}{\text{poder calorifico biogás.}}$$

Ec. 2 Flujo de biogás.

$$\text{flujo de biogás} = \frac{126831.86 \frac{\text{BTU}}{6h}}{544,08 \frac{\text{BTU}}{ft^3}}$$

$$\text{Flujo de biogas} = 233.11 \frac{ft^3}{6h}$$

El flujo de biogás convertimos en $m^3/6h$

$$\text{flujo de biogas} = 233.11 \frac{ft^3}{6h} \times \frac{1m^3}{35,3147ft^3}$$

$$\text{flujo de biogás} = 6.6 \frac{m^3}{6h}$$

3.5.6. Acumulador de biogás.

A la entrada de la cocina se diseñó una bolsa de Geo membrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de $7 m^3$ para el abastecimiento de biogás hacia la cocina, en la figura 22 se muestra el diseño del acumulador de biogás.

Los planos del acumulador de biogás se muestran en el ANEXO D-1

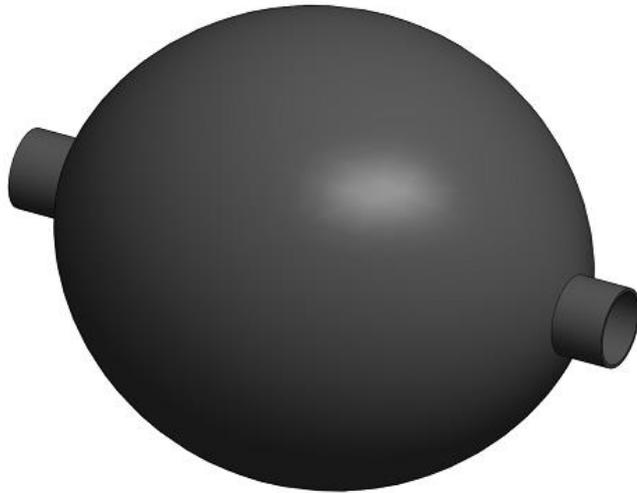


Figura 22 Bolsa de biogás

El diseño de la línea a la entrada de la cocina donde se encuentra la bolsa, corta llamas y cocina se muestra en la figura 23.

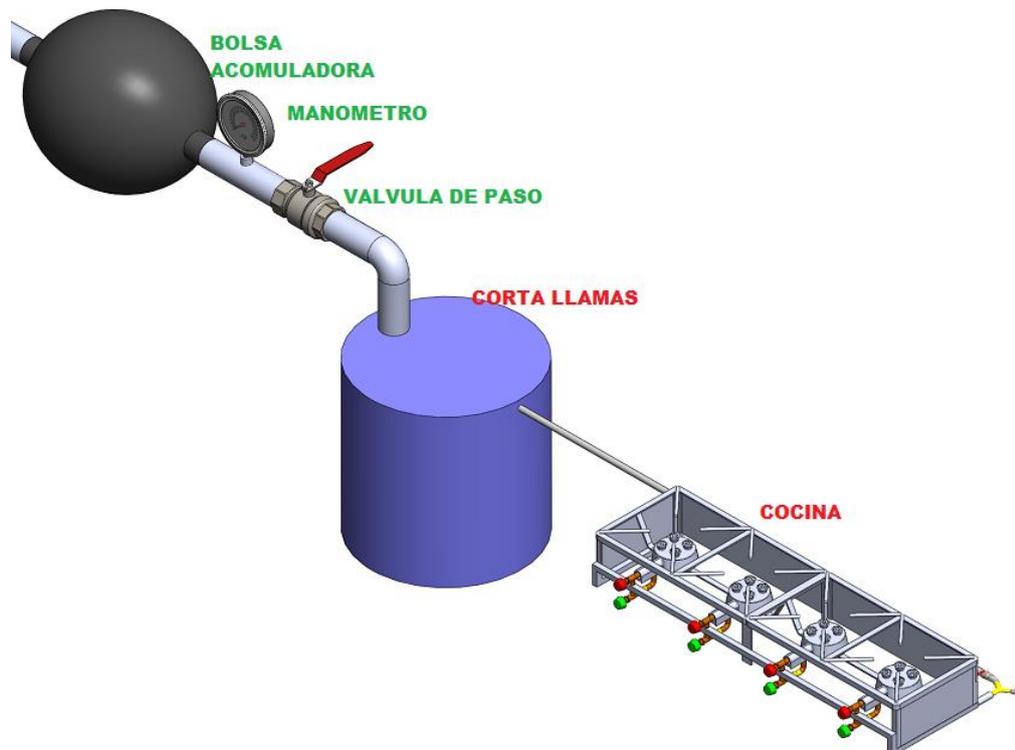


Figura 23 Entrada del biogás hacia la cocina, ANEXO D-1.1

3.5.7. Acondicionamiento de la cocina industrial para su funcionamiento con biogás – GLP.

La cocina industrial que utilizan en la hacienda es de tipo estándar como lo muestra el ANEXO D-2, que funciona con glp por tal motivo se deben hacer ciertas modificaciones en el sistema de alimentación del gas. Además para asegurar el continuo abastecimiento ya sea de glp o biogás se realizara un bypass como lo muestra la figura 24 indica los cambios realizados en la cocina industrial.

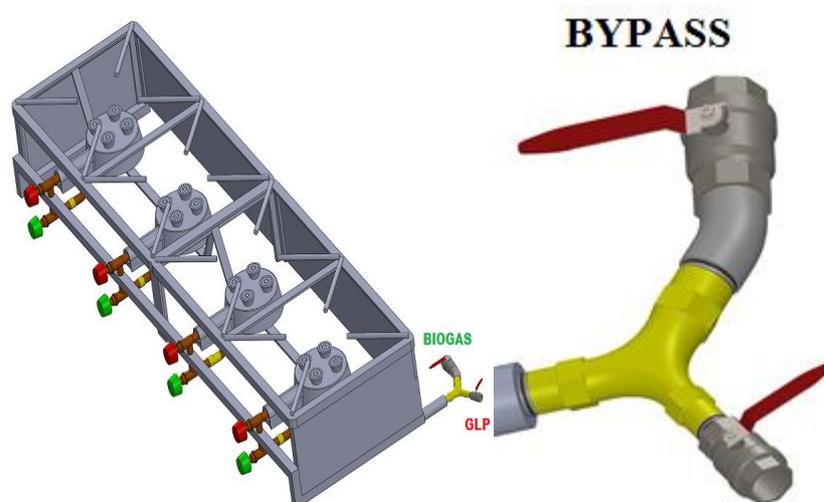


Figura 24 Cocina industrial modificada, ANEXO D-2

Es importante anotar que la mayoría de cocinas y equipos que utilizan gas, vienen diseñados de fábrica para trabajar con GLP o gas propano a alta presión, por lo que es necesario modificar el dispositivo o fisto que regula el flujo de gas.

En el diseño actual no será necesaria la utilización del fisto debido a que el biogás llega a una presión baja y además como se muestra en la tabla 16 debido a la relación de poderes caloríficos de biogás y GLP se necesita un mayor caudal, el cual sería limitado si se llegara a utilizar un fisto.

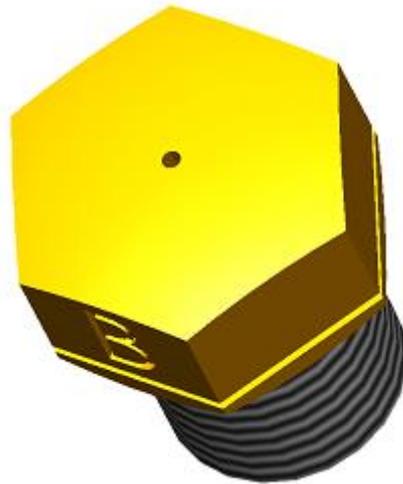


Figura 25 Fisto normal

3.5.8. Criterios y consideraciones del diseño.

Los criterios de diseño para el dispositivo deben contemplar principalmente: El buen funcionamiento, sencillez en el mantenimiento, seguridad, facilidad de operación, durabilidad y sencillez para su construcción. A continuación se presenta la lista de criterios y consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño:

- Las propiedades del biogás a utilizar en la cocina.
- La capacidad del biogás del biodigestor.
- El espacio físico disponible.
- Disponer de recirculación forzada mediante un soplador anti explosión (ATEX) para que así se puedan obtener mejores resultados en la cocina.
- El diseño debe constar con un presostato en el sistema de encendido y apagado automático del soplador anti explosión (ATEX), el cual permita mantener a una presión constante de 1 psi con una tolerancia de ± 0.2 psi para obtener resultados óptimos en la cocina.
- La disponibilidad de materiales y equipos en el mercado para su implementación.
- El manejo del biogás tanto en la succión como en la descarga.

3.6. Selección de los elementos del sistema de transporte de biogás

Tras un análisis de los elementos utilizados comúnmente para el transporte del biogás se decidió utilizar los elementos mostrados en el esquema de la figura 26.

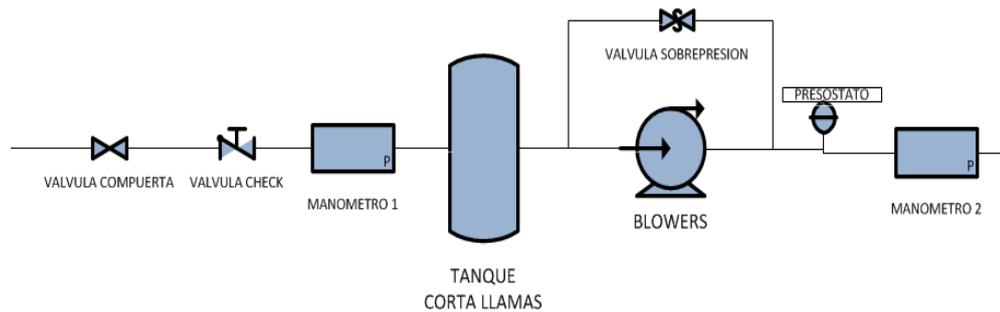


Figura 26 Tren de calibración del biogás.

3.6.1. Selección del soplador

Para la selección del soplador que será empleado en la línea de calibración se debe disponer del caudal necesario y de la potencia del soplador.

$$Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_R = 0.56 \text{ HP}$$

Q = Caudal de biogas

P_R = Potencia requerida

El objetivo de seleccionar un soplador será de tal manera que las características de funcionamiento del soplador en relación al sistema en el cual opera sean tales que el punto de funcionamiento este cercano al punto de máximo rendimiento y éste tienda a optimizar el rendimiento del soplador. Al existir gran variedad de marcas, fabricantes que prestan las características para esta aplicación. Para la selección del soplador se realizará una matriz de ponderación que se observa en la tabla 17, con la que se determinará la marca que brinde mejores beneficios para esto se debe considerar los siguientes factores como esenciales:

- Naturaleza del gas a emplearse.
- Capacidad requerida (caudal).
- Condiciones de succión y descarga del soplador.
- Longitud total, altura total y presión total.
- Fuente de alimentación.
- Espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costos del soplador (instalación, operación y mantenimiento)

Las alternativas que se tienen son:

A. Soplador marca Turbotron®.

B. Soplador marca FPZ, Inc

C. Soplador marca MAPRO.

Tabla 17

Matriz de ponderación del Soplador

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
Disponibilidad	10	10	10	10
Capacidad Requerida	10	9	9	10
Naturaleza del gas	10	10	10	10
Carga total del soplador	10	9	9	9
Precio	10	9	8	10
Disponibilidad en el país	5	5	5	10
PUNTUACIÓN TOTAL		47	46	59

De acuerdo a la tabla 17, la opción que presenta más beneficios es la C, a pesar de que el precio sea elevado con respecto a las otras marcas; especialmente su capacidad requerida, naturaleza del gas y la carga total sobre el soplador lo atribuye, por lo tanto se utilizará la marca MAPRO, en el ANEXO A-1 se detalla las características de construcción, curvas de funcionamiento y sus dimensiones.

En tal virtud, el fluido a utilizarse será biogás respectivamente procesado será gas metano; por lo que se seleccionó un soplador marca MAPRO de origen alemán. Este soplador tiene el siguiente modelo “CL 30 HS” como se muestra en figura 27.



Figura 27 Soplador MAPRO

Fuente: (MAPROBIOGAS, 2014)

3.6.2. Selección del presostato

El presostato también es conocido como control de presión. Es un aparato que cierra o abre un circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión de un fluido.

El fluido ejerce una presión sobre un pistón interno haciendo que se mueva hasta que se unen dos contactos. Cuando la presión baja un resorte empuja el pistón en sentido contrario y los contactos se separan.

El objetivo de seleccionar un presostato será de tal manera que las características de funcionamiento del presostato en relación al sistema en el cual opera sean tales que el punto de funcionamiento este cercano al punto de máximo rendimiento. Al existir gran variedad de marcas, fabricantes que prestan las características para esta aplicación.

Para la selección el presostato se realizará una matriz de ponderación que se observa en la tabla 3.6, con la que se determinará la marca que brinde mejores beneficios para esto se debe considerar los siguientes factores como esenciales:

- Naturaleza del gas a emplearse.
- Capacidad requerida (Presión).

- Condiciones de baja y alta presión del presostato.
- Fuente de alimentación.
- Espacio, peso y posición.
- Condiciones ambientales.
- Costos del presostato (instalación, operación y mantenimiento)

Las alternativas que se tienen son:

- A. Presostato marca NORGREN
- B. Presostato marca DANFOSS
- C. Presostato marca BUHLER

Tabla 18

Matriz de ponderación del Presostato

ASPECTOS	PONDERACIÓN	ALTERNATIVAS		
		A	B	C
Disponibilidad	10	10	10	10
Capacidad Requerida	10	9	10	9
Naturaleza del gas	10	10	10	10
Rango del presostato	10	9	9	9
Precio	10	9	10	8
Disponibilidad en el país	5	5	10	5
PUNTUACIÓN TOTAL		52	59	51

De acuerdo a la tabla 18, la opción que presenta más beneficios es la B, a pesar de que el precio sea elevado con respecto a las otras marcas; especialmente su capacidad requerida, naturaleza del gas y la carga total sobre el presostato lo atribuye, por lo tanto se utilizará la marca DANFOSS, en el ANEXO A-2 se detalla las características de construcción, curvas de funcionamiento y sus dimensiones.

3.6.3. Selección de la tubería para la succión y descarga del biogás

A. Línea de Gas

El siguiente cálculo del diámetro de la tubería está basado en la ecuación de Weymouth (ecuación 3) y se desprecia la posible caída de presión causada por los futuros instrumentos ubicados en la línea de transporte de gas.

$$Q = 2.61 \times 10^{-3} \times d^{2.667} \sqrt{\left[\frac{P_1^2 - P_2^2}{SL} \right]} \frac{288}{T}$$

Ec. 3 Ecuación de Weymouth

Fuente: Norma ASME B 31.8

Dónde:

- Q= Flujo de biogás (m^3/h)
- d= Diámetro de tubería PVC (mm)
- P_1 = Presión inicial absoluta (Kg/cm^2)
- P_2 = Presión final absoluta (Kg/cm^2)
- S= Gravedad específica del gas (adimensional)
- L= longitud (Kilometro)
- T= Temperatura ($^{\circ}K$)

Despejando el valor del diámetro (d) de la Ec 4 Se obtiene la Ec.3.4

$$d = \left(\frac{Q \sqrt{SLT}}{2.61 \times 100^{-3} \sqrt{288(P_1^2 - P_2^2)}} \right)^{1/2.667}$$

Ec. 4

En la tabla 19 se muestra los valores de cada variable de la Ec.3.4

Tabla 19

Valores a reemplazar en la Ec.3.4

VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Q	0.62	m^3/h
D	?	Mm
P_1	0.122	Kg/cm^2
P_2	0.070	Kg/cm^2
S	1.04	Adimensional
L	0.9	Km
T	293.15	$^{\circ}K$

Fuente: (IZA, 2015)

$$d = \left(\frac{0.62 \sqrt{1.04 * 0.9 * 293.15}}{2.61 \times 100^{-3} \sqrt{288(0.122^2 - 0.070^2)}} \right)^{1/2.667}$$

$$d = 2.11 plg \approx 2^{1/2} plg \quad \text{De tubería PVC}$$

A continuación en la Tabla 20 se indica los datos necesarios para obtener el diámetro de la tubería de transporte del biogás, los cuales fueron medidos en el campo y mediante una cromatografía del biogás a transportar.

Tabla 20

Datos para obtener el diámetro de la tubería.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Fluido a transportar	Biogás asociado de un biodigestor
Presión de la fuente del biogás	1.74 psi
Presión de ingreso a la estufa	0.6-1 psi
Temperatura	20 $^{\circ}C$
Gravedad específica del biogás	1.04
Poder calorífico del biogás	544.08 BTU/pe^3
Poder calorífico del GLP	75495.16 BTU/m^3

Para el Tren de Calibración se calculó el diámetro de las tuberías para la línea de succión y descarga, por lo tanto se utilizará tubería de $2^{1/2} plg$ de PVC debido que es resistente a la presión del sistema.

Para un caudal de $1 m^3/h$ se requiere de:

- Línea de succión: Tubería de PVC $2^{1/2} plg$

- Línea de descarga: Tubería de PVC $2^{1/2}$ *plg*

Utilizando el ANEXO A-3 se selecciona según el uso principal, el material a emplear, por lo tanto para esta aplicación se utilizará tubería de PVC ASTM D – 1238; en el ANEXO A-4 se muestran las características técnicas de la tubería seleccionada para el tren de calibración y para la conducción del biogás.

3.6.4. Selección de accesorios y válvulas

A medida que el biogás fluye por tuberías, codos, té, válvulas y otros dispositivos, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna del material con el fluido, estas pérdidas de energía traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema. De acuerdo al sistema diseñado se escogieron de igual forma que las tuberías, accesorios de PVC de presión en el tren de calibración ya que este material tiene una durabilidad mucho mayor y una gran resistencia, además de una excelente protección contra la corrosión. En el ANEXO A-5 se muestra las características de los accesorios.

A. Válvula de cierre

La válvula es uno de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.

Se seleccionó una válvula de cierre de PVC de $2^{1/2}$ *plg* , la misma que se encuentra disponible en el mercado, destinada para operar totalmente abierta o cerrada. En el ANEXO A-6 se detallan las características.



Figura 28 Válvula de Cierre

Fuente: (CEPEX, 2014)

B. Manómetro.

Los manómetros son los instrumentos utilizados para medir la presión de fluidos (gases y líquidos). Lo común es que ellos determinen el valor de la presión relativa, aunque pueden construirse también para medir presiones absolutas.

Se seleccionó un Manómetro Patrón Exactitud 0.6% Modelo 91P, la misma que se encuentra disponible en el mercado, En el ANEXO A-7 se detallan las características.



Figura 29 Manómetro

Fuente:(CARI, 2014)

C. Válvula check.

Las válvulas anti retorno son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para evitar golpes de ariete o retornos innecesarios de fluido.

Se seleccionó una válvula check tipo resorte, la misma que se encuentra disponible en el mercado, En el ANEXO A-8 se detallan las características.



Figura 30 Válvula Check

Fuente: (CEPEX, 2014)

D. Válvula anti explosión.

Las válvulas anti explosión o cortafuegos se cierran debido a la onda de presión causada por una explosión. Sin alimentación externa la instalación puede ser horizontal o vertical.

Se seleccionó un VÁLVULA DE SEGURIDAD RP 21/2, la misma que se encuentra disponible en el mercado, En el ANEXO A-9 se detallan las características.



Figura 31 Válvula de Seguridad

Fuente:(Elektrogas, 2014)

3.7. Diseño electromecánico y control

El sistema electromecánico y de control permite el funcionamiento automático del sistema de circulación y recirculación, las funciones son las siguientes:

1. Encender el soplador para la circulación del biogás.
2. Mantener la presión adecuada en la cocina.
3. Encender o apagar el soplador dependiendo de la presión que se necesita en el punto de consumo.
4. Desconectar el soplador si existe problemas de fugas de gas.

Para la medición y control de la presión se utilizó el PRESOSTATO KPS31 de la empresa DANFOOS utilizado tanto para sistemas de conducción de fluidos (Anexo A-2).

Para cumplir con todas las funciones indicadas se diseñó el siguiente circuito de control y potencia (Anexo C-1).

3.8. Diseño mecánico.

En esta parte del diseño se definen las piezas, materiales y especificaciones técnicas para la construcción.

3.8.1. Dimensionamiento de la estructura del tren de calibración

Se diseñó una estructura metálica con un factor de seguridad de 2.5 debido a que va estar sometida a vibraciones y humedad.

Las dimensiones de la estructura son, 200 cm. de largo, 100 cm. de ancho y 125 cm. de altura, ver en la figura 32, el cual cumple con los requerimientos necesarios para un tren de calibración. Según ANEXO D-3

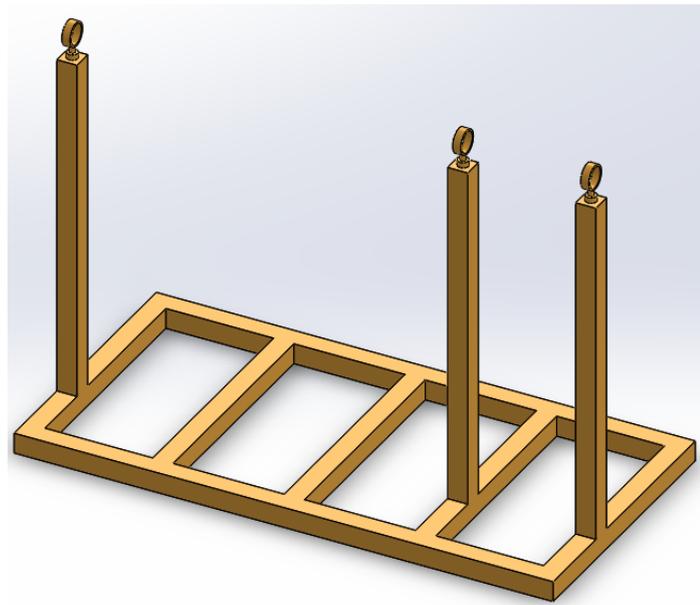


Figura 32 Estructura metálica

3.8.2. Tubería del tren de calibración

La tubería de PVC ASTM D – 12-38 del tren de calibración debe estar diseñado de tal manera que no permita fugas de gas, es por esto, que se diseña la tubería con rosca para sus acoples, como lo indica la Figura 33.



Figura 33 Tubería de tren de calibración

3.8.3. Diseño del tren de calibración

El diseño del tren de calibración se muestra en la siguiente figura 34 donde se encuentran todos sus accesorios.

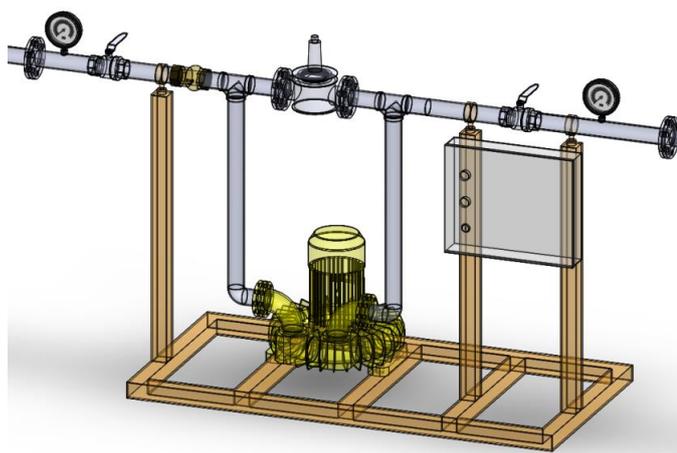


Figura 34 Tren de calibración. Anexo D.4

3.9. Comprobación del diseño usando el Software Solidworks 2014

Para comprobar el diseño y selección de los componentes de la línea de conducción de biogás se diseñó el sistema en solidworks para poder simular las condiciones reales de funcionamiento. En la siguiente figura 35 se muestra el diseño de la línea de conducción con todos sus componentes

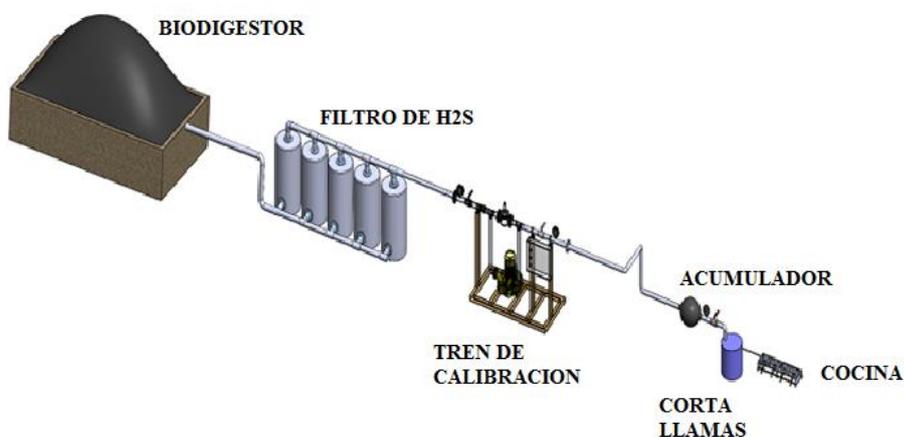


Figura 35 Diseño usando el software SOLIDWORKS

3.9.1. Resultados de la simulación mediante el Software Solidworks.

Mediante la simulación del diseño nos arrojó los siguientes valores.

Tabla 21

Matriz de ponderación del Soplador

Parámetro	Mínimo	Máximo	Promedio
Densidad (kg/m ³)	101333.078	101333.0894	101333.0827
Presión (Pa)	101325.0997	101325.5663	101325.3036
Velocidad (m/s ²)	0.551326486	1.313584634	0.931463095
Temperatura (°C)	24.70	24.72	24.713

3.10. Diseño del filtro H₂S

Respirar o tener contacto con el H₂S es muy peligroso, en concentración menor de 10 ppm no causa peligro a personas que trabajan con él durante ocho horas, en concentración de 50 ppm, aproximadamente, se pierde el olfato y causa dolor de cabeza y mareo, en concentración de 100 ppm hace llorar, provoca estornudo y la pérdida del olfato, y puede ahogar si se tiene contacto con él durante una hora, en concentración de 200 ppm provoca ahogo, enseguida se irritan los ojos y la nariz, y en contacto con él durante una hora puede causar la muerte, en la concentración de 1000 ppm o más causa la muerte en minutos. La concentración máxima permitida de H₂S en lugares de trabajo es de menos de 10 ppm. (Piñón, 2010)

El H₂S tiene carácter corrosivo, especialmente en las condiciones de alta temperatura y presión, puede corroer los equipos de metal, y cuando se quema produce gas SO₂, aún más peligroso. Ejemplo: con acero, el nivel erosivo del H₂S es 2,5 mm/año. (Piñón, 2010)

Cuando se quema, el H₂S produce gas SO₂, que también es un gas ácido fuerte con carácter corrosivo y tóxico para el sistema respiratorio; si tiene contacto con el agua forma el ácido H₂SO₃, productor de la lluvia ácida. En muchos países se limita al mínimo la presencia del H₂S en los productos comerciales gaseosos en un nivel menor o igual a 4 ppm. (Piñón, 2010)

El filtro es un equipo indispensable para la remoción del H_2S , en la ecuación 3.2 se calculó el flujo requerido para un reemplazo del 100% de biogás, al ser el volumen aproximadamente un metro cubico, se diseñó cinco tanques de 200 litros de plástico herméticos conectados en paralelo. En la figura 36 se muestra el tanque a utilizarse.



Figura 36 Tanque de 200 litros de volumen.

Fuente: (clasipar.com)

El medio filtrante escogido fue el método de adsorción de limalla de hierro debido a su fácil colocación y es muy utilizado para separar el ácido sulfhídrico hasta un volumen de $2m^3$, el biogás al pasar por las paredes de hierro este se adhiere y corroe las paredes, así se queda el H_2S en filtro. En la figura 37 se muestra la viruta recomendada para el filtro.



Figura 37 Viruta Frix 200 g referencia 7128

Fuente: (Limpio)

En la figura 38 se muestra el diseño del filtro de H₂S.



Figura 38 Filtro de H₂S.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1. COSTO DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN.

El análisis económico pretende determinar el beneficio que se obtiene con el sistema de conducción de biogás para generar energía calorífica.

Para el presente proyecto los costos se los detalla en la tabla 4.1, los mismos están referidos a un caudal de 1 m³/día de biogás y una presión de 0 a 1 psi.

Es una comparación entre los gastos que conlleva la construcción frente a los beneficios que se obtendrá. De esta comparación se determina la depreciación del bien así como la tasa de recuperación de la inversión.

Tabla 22

Costos de implementación del sistema de conducción.

Costos aproximados de la construcción			
Línea de conducción de biogás hacia la estufa	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Subtotal (US\$)
Tubería PVC de 2 ^{1/2}	167	28,86	4.819,86
Codo E/C 90°	12	3,14	37,68
Galón Polipega	1	47	47
Válvula de Bola	10	18,76	337,68
Unión CC E/C 75	10	2,58	25,80
Reductor Buje E/C 75 a 63	1	1,68	1,68
Reductor Buje E/C 63 a 25	1	0,35	0,35
Tee Reductora E/C 90 a 75	4	3,50	14
Tee E/C	50	1,85	92,5
Tubería de acero célula 50	1	800	800
		Subtotal	6.176,55
Línea de calibración			
Soplador a biogás ATEX, categoría 2G-T3 Motor: 0,25 kW	1	2959,04	2.959,04
Filtro de gas	1	253,12	253,12
Kit de mantenimiento	1	299,04	299,04
Cartucho para filtro	3	23,52	70,56
Transporte y embalaje	1	952	952
Impuesto de Importación.		10%	446,32
		Subtotal	4.909,52

CONTINUA



Costos aproximados de la construcción			
Línea de conducción de biogás hacia la estufa	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Subtotal (US\$)
Filtro de H2S			
Adaptador de 2"	3	1.6	4.8
Ye 2"	1	4.66	4.66
Codo 45° 2"	1	1.7	1.7
Codo 90° 2"	1	1.6	1.6
Válvula 2"	1	14.67	14.67
Reducción de 3" a 2"	1	2	2
Tubo 2"	1	10.41	10.41
Codo 90° 3"	5	4.9	24.5
Codo 45° 3"	1	5.26	5.26
Te 3"	8	5.17	41.36
Universal 3"	1	38.5	38.5
Bridas 3"	10	9.5	95
Tubo 3"	5	19.79	98.95
Cemento solvente	1	14.48	14.48
Tanques plásticos	5	40	200
Viruta de acero lustre	200	108.29	108.29
		Subtotal	666,18
Adicionales de la línea de conducción			
Tablero de control.	1	500	500
Corta llamas	2	480	960
Trampa de condensados	30	14	420
Levantamiento topográfico	1	400	400
Excavación y tendido de tubería	1	3.000	3.000
		Subtotal	5.280

La inversión total del proyecto en materia prima directa (MPD) tiene un costo total que se muestra en la tabla 23

Tabla 23

Materia Prima Directa

INVERSIÓN TOTAL MPD	
TIPO DE INVERSIÓN	MONTO
Línea de conducción de biogás hacia la estufa	6.176,55
Línea de calibración	4.909,52
Filtro de H2S	666,18
Adicionales de la línea de conducción	5.280
TOTAL	17.032,25

4.1.1. Mano de Obra Directa (MOD).

Estos costos se refieren a la mano de obra que incide directamente en el proceso de diseño y construcción como son: la mano de obra técnica y no técnica.

Legalmente no existe una ley que determine cierto monto de remuneración para este tipo de trabajo, en base a experiencias de diferentes profesionales el monto debido a la mano de obra directa no técnica fluctúa entre el 20 y 25% de los costos de inversión de la MPD.

Siendo la inversión de materia prima directa de 14.032,25 USD y los costos indirectos representan un gasto adicional, se tomará como referencia el 20 % de inversión de MPD, como se detalla a continuación en la Tabla 24

Tabla 24

Mano de Obra Directa

MANO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	% MPD	MONTO
Técnica	Jefe de obra	1	10	1.703,225
	Ing. Electromecánico	1	6	1.021,935
	Asesor	1	4	681,29
	Tractorista	1	8	1.362,58
			Sub Total	4.769,03
MANO DE OBRA.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO DE TRABAJO (8 HORAS)	MONTO
No Técnica	Albañil	2	25	250
	Electricista	1	30	60
	Trabajador	2	18	180
			Sub Total	490
			TOTAL	5.259,03

4.1.2. Costos Indirectos (CI).

Los costos indirectos corresponden a todos los gastos realizados que no intervienen específicamente en el presupuesto para materia prima y mano de obra directa. Entre estos gastos se puede considerar la materia prima indirecta y transportación, como se indica en la Tabla 25

Tabla 25

Costos Indirectos

Tipo de inversión	Total
Materia prima indirecta	800
Transporte	300
TOTAL	1.000

Para el análisis de costos del proyecto se considera el porcentaje de inversión en cada una de las secciones de MPD, MOD y CI. En la Tabla 26 se muestra la inversión parcial y total del proyecto.

Tabla 26

Inversión Total

GENERAL	INVERSIÓN TOTAL	PORCENTAJE INV. TOTAL
MATERIA PRIMA DIRECTA	17.032,25	76,41
MANO DE OBRA DIRECTA	5.259,03	23,59
TOTAL	22.291,28	100

Determinados los costos del proyecto se puede observar la inversión que representa cada una de las secciones, siendo la línea de conducción de biogás hacia la estufa la inversión más representativa, debido al alto costo de la importación de equipos tales como el soplador con características antiexplosivas.

En el sistema se consideró instrumentación de la EMPRESA AQUALIMPIA que brinda garantías de funcionamiento y anti explosión, además se cuenta con un representante de la empresa en el país.

4.2. Determinación de los costos de operación

Los costos de operación de la línea de conducción del biogás en la hacienda San Francisco tendrán un costo adicional, debido a la energía eléctrica utilizada por los equipos así como también a la mano de obra de los operarios.

4.2.1. Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento

Estos costos se refieren al consumo de energía eléctrica utilizada por los equipos para su operación, se consideró que el costo de KWh es de 0,12 USD, en la Tabla 27 se detallan los costos.

Tabla 27**Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento**

Equipos	Potencia (KW)	Tiempo operación(horas)	Total (KWh)	Costo Mensual	Costo Anual
Soplador	0,25	6	1,5	5,4	64,8
			TOTAL	5,4	64,8

4.2.2. Costos mano de obra de operadores

Este costo se refiere al salario de un operador encargado del funcionamiento del sistema de conducción del biogás, así como costos del aporte al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldo, según el código laboral ecuatoriano, en el 2014 se considera el salario básico de 340,00 UDS como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28**Costos mano de obra de operadores**

Operador	Aporte patronal IESS (11,15%)	Salario (Anual)	Décimo tercero	Décimo cuarto	Sueldo Anual
1	37,91	4.534,92	340,00	340,00	5.214,92
				TOTAL	5.214,92

Los costos totales de operación se detallan en la Tabla 29.

Tabla 29**Costos de operación**

Tipo de Costos	Total
Energía eléctrica para autoabastecimiento	64,8
Mano de obra de operadores	5.214,92
Total Anual	5.279,72

4.2.3. Calculo del ingreso total

Considerando que el consumo del GLP en la Hacienda San Francisco es diario y tiene un costo de \$ 24 cada bombona, se calculará el valor total de ingreso como se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 30
Ingreso Total

Tiempo de Operación	Ingresos
Semanal	257,6
Mensual	1030,4
Anual	12.364,8

4.2.4. Cálculo de flujos de caja

El flujo de caja se considera como la cantidad de dinero que fluye dentro y hacia afuera de una empresa, esto se realiza con una proyección estimada de 5 años y considerando la inversión total en un año tomando en cuenta el pago a los trabajadores, costos indirectos y la energía utilizada para el autoabastecimiento como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31
Inversión total para un año proyectado.

Descripción	Total
Inversión total del proyecto	22.291,28
Inversión costos de operación	5.279,72
INVERSIÓN TOTAL	27.571

La tasa de interés para el producto empresarial es de 10.21% y viene dado por el BANCO DEL FOMENTO, como lo indica la Tabla 32.

Tabla 32
Tasa de interés activas efectivas vigentes.

TASAS DE INTERÉS	
Tasa Activa Efectiva Máxima	% anual
Para el segmento	
Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	11.83

Fuente: (FOMENTO, 2015)

La amortización es la reducción parcial de los montos de una deuda en un plazo determinado de tiempo. Considerando la inversión inicial de 27.571 \$, y un interés de producto empresarial de 10.21% anual las cuotas a pagar se observa en la Tabla 33.

Tabla 33

Amortización de préstamos

 CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS					
importe	27.571,00				
años	5				
comisión de apertura	0,00%				
interés nominal	10,21%				
periodo de pago	1				
tipo amortización	2				
cuotas constantes					
		PAGOS TOTALES			
		PRINCIPAL	27.571,00		
		INTERESES	8.445,00		
		COMISIÓN	0,00		
		TOTAL	36.016,00		
		coste efectivo 10,21%			
años	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente
0					27.571,00
1	8.329,20	2.815,00	5514,20	5.514,20	22.056,80
2	7.786,20	2.252,00	5514,20	11.028,40	16.542,60
3	7.203,20	1.689,00	5514,20	16.542,60	11.028,40
4	6.640,20	1.126,00	5514,20	22.056,80	5.514,20
5	6.077,20	563,00	5514,20	27.571,00	0,00

En una hoja de cálculos de Excel se elaboró los flujos de caja como se observa en la tabla 34.

Tabla 34

Flujo de caja

RUBROS	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS:	(27.571)					
AHORRO DEL GLP		113,97	113,97	113,97	113,97	113,97
EGRESOS:						
INTERÉS PRÉSTAMO (10,21%)		(2.124,36)	(1.699,49)	(1.274,62)	(849,74)	(424,87)
AMORTIZACIÓN DEUDA		(4.458,26)	(4.458,26)	(4.458,26)	(4.458,26)	(4.458,26)
COSTO DE OPERACIÓN		(5.957,24)	(5.957,24)	(5.957,24)	(5.957,24)	(5.957,24)
FLUJO DE CAJA	(27.571)	(12.425,89)	(12.001,02)	(11.576,15)	(11.151,27)	(10.726,40)

4.2.5. Cálculo del VAN, TIR, tiempo de recuperación

Según datos del Banco Del Fomento, se ha determinado que la tasa de interés activa anual promedio se encuentra en un 10.21 %. Este valor será la tasa de descuento a ser tomada en cuenta para calcular el VAN, TIR y el Tiempo de Recuperación.

4.2.6. Cálculo del van (valor actual neto)

Una forma de evaluar el proyecto se basa en tomar en cuenta el valor del dinero a través del tiempo. Para poder aplicar este método, se debe pasar el valor del dinero en un momento determinado a valor presente. Si el valor presente neto es positivo, el proyecto puede ser aceptado, caso contrario el proyecto no es rentable.

El VAN se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Ec. 5

Dónde:

V_t= Flujos de caja en cada periodo t.

k = Tasa de interés.

I₀= Inversión inicial.

t = Periodo en años.

De la **Tabla 4.14**.se tiene:

$$VAN = 7606.62$$

Como **VAN > 0** el proyecto es rentable y debe ser aceptado, considerando un período de 5 años.

4.2.7. Cálculo de la TIR (tasa interna de retorno)

La TIR indica la factibilidad del proyecto, si el proyecto de inversión es o no rentable. Es decir indica el beneficio neto que proporciona la inversión en función de un porcentaje anual, igualando el valor actual de los costos y beneficios ($VAN = 0$).

La TIR se calcula con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Ec. 6

De la Tabla 35 se tiene:

$$TIR = 20.78\% \text{ Anual}$$

Como la TIR es mayor que la Tasa de Interés Activa, el proyecto es rentable.

4.2.8. Tiempo de recuperación de la inversión (TR)

El tiempo de recuperación de la inversión se determina a partir de la fórmula de inversión estadística:

$$I_0 = \frac{A}{i} ((1 + i)^{-n})$$

Ec. 7

Dónde:

A = Ganancia mensual.

i = Tasa de interés mensual.

I₀ = Inversión inicial.

n = Número de meses de recuperación de la inversión.

De la ecuación anterior se despeja n:

$$TR = n = - \frac{\ln\left(\frac{A - l_0 i}{A}\right)}{\ln(1 + i)}$$

Ec. 8

De la Tabla 35 se tiene:

$$TR = 30 \text{ Meses}$$

Este resultado indica que el capital invertido en el sistema de conducción se recupera en un tiempo de 30 meses, lo que indica que es rentable la inversión en el sistema de conducción del biogás.

Tabla 35

Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.

Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación	
Tasa de descuento (anual)	10.21 %
Ahorro mensual:	1030,4
Ahorro anual:	12364,8
Inversión inicial:	27571
Flujo de fondos anuales	
Periodo años	
0	-27571
1	9.814,48
2	9.546,05
3	9.277,62
4	9.009,20
5	8.740,77
Valor actual neto (VAN):	7606.62
Tasa interna de retorno (TIR):	20.78% anual
Tiempo de recuperación (TR):	30Meses

4.3. Interpretación

Se puede observar que todos los parámetros financieros aplicados anteriormente son positivos y por ende son atractivos y viables, logrando recuperar la inversión en 30 meses, concluyendo que la Línea de conducción de biogás para uso doméstico en la Hacienda San Francisco, es factible y aplicable.

CAPÍTULO IV

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El soplador es necesario para mantener la estabilidad de presión y caudal en la línea de conducción de biogás.
- La ecuación de Weymouth es aplicable por la pendiente del 2 %, por lo que nos permite despreciar las pérdidas en la tubería y accesorios en la línea de conducción de biogás.
- El filtro de H₂S fue diseñado por el método de adsorción es el más económico y nos permite mantener los 10 ppm necesarios para la cocina industrial
- La tubería de PVC es la más adecuada por su durabilidad y no corrosión ante el biogás para este proyecto.

5.2. Recomendaciones

- El proyecto es viable y debería ser tomado como ejemplo para futuras implementaciones.
- Realizar un mantenimiento integral periódico en el tren de calibración y en la línea de conducción de biogás.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- IZA, S. 2. (2015). TESIS. In S. IZA, “*Sistema De Conducción De Biogás Para Generar Energía Eléctrica En La Hacienda San Francisco*”. LATACUNGA.
- Alfredo, H. B. (2010). *Aprovechamineto energético del biogas en el Salvador*. CUSCATLAN: PDF.
- aqualimpia. (2013). *aqualimpia*. Retrieved 10 15, 2013, from <http://www.aqualimpia.com>
- Aqualimpia, H. S. (2008, 8 25). *Biodigestor San Francisco AGROGANA*. Latacunag: PDF. Retrieved junio 8, 2013, from <http://www.aqualimpia.com>
- Bradfer. (2001). *Riesgos y Seguridad en el manejo de Biogás en una PTAS*. Chile.
- CARI. (2014). <http://www.cari.com.mx/>.
- CEPEX. (2014). *CEPEX*.
- clasipar.com. (n.d.). *COMPRO TAMBORES DE PLASTICO DE 200 LT*. Retrieved Marzo 10, 2015, from http://clasipar.paraguay.com/compro_tambores_de_plastico_de_200_lt__952462.html construferias-sa. (2015). <http://www.guimun.com/ecuador/seccion/4905/110/3/materiales-de-construccion-en-guayaquil-construferias-sa--construccion-en-guayaquil>. Retrieved from <http://www.guimun.com/ecuador/seccion/4905/110/3/materiales-de-construccion-en-guayaquil-construferias-sa--construccion-en-guayaquil>: clasipar.com, «COMPRO TAMBORES DE PLASTICO DE 200 LT,» [En línea]. Available: http://clasipar.paraguay.com/compro_tambores_de_plastico_de_200_lt__952462.html. [Último acceso: 10 Marzo 2015].
- Contreras, L. M. (2006). *Producción de biogás con fines energéticos*. Sancti Spíritus, Cuba,.
- Cunalata, J. C. (2014). Ambato, Ecuador.
- Doroteo, J. C. (2012). “*Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México*”. México, D.F.

- earth.google.com. (2014). *earth.google.com*. Retrieved 9 20, 2013, from <http://www.earth.google.com>
- Elektrogas. (2014). *google*. Retrieved from <http://www.delta-elektrogas.com/>
- Escuela Politecnica Nacional, D. D. (2013). *Cromatografía de biogás*. Quito.
- FOMENTO, B. N. (2015, AGOSTO 20). *BNF*. Retrieved AGOSTO 2015, from https://www.bnf.fin.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=53%3Atasas-del-banco-central&catid=20%3Atransparencia-de-informacion&Itemid=90&lang=es
- Gabriel Moncayo Romero, D. I. (2011). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Alemania.
- Garcia, G. O. (2008). *Proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol*. México, DF.
- Guardado, J. A. (2007). *Diseño y Construcción de Plantas de Biogás Sencillas*. Cuba.
- Hacienda, H. S. (2015, 8 25). *www.aqualimpia.com*. Retrieved junio 8, 2013, from <http://www.aqualimpia.com>
- Hidalgo, J. A. (2010). *Aprovechamiento Energético Del Biogás En El Salvador*. ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, C.A.
- HSSIVA. (2014).
- ICAITE, I. C. (1985). *Biogás Y Bioabono Aplicación*. Icaite: Instituto Centro Amercano De Investigación Y Tegnología Industrial Icaite.
- Industrial, C. (2015). <http://cocinasindustriales.com/>. Retrieved 12 10, 2015, from <http://cocinasindustriales.com/>: <http://cocinasindustriales.com/>
- IZA, S. 2. (2015). TESIS. In S. IZA, "*Sistema De Conducción De Biogás Para Generar Energía Eléctrica En La Hacienda San Francisco*". LATACUNGA.
- Jordan, P.-J. (2010). *Guía sobre el Biogás*. Alemania.
- Julio Cunalata, J. C. (2013). *Levanatamiento Topográfico*. Latacunga.
- KumHo Mod, M. d. (2014). *sanitariosbedon.com*. Retrieved 11 25, 2013, from <http://www.sanitariosbedon.com.mx/>
- Limpio, T. P. (n.d.). *Viruta Frix 200 g referencia 7128*. Retrieved Marzo 20, 2015, from <http://pisolimpio.com.co/viruta-200-gr/>

- M. D. Piñón, «. d. (2015).
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energía41/HTML/Articulo05.htm>
 . Retrieved from
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energía/Energía41/HTML/Articulo05.htm>
- MAPROBIOGAS. (2014). Alemania.
- Moncayo Romero, G. M. (2011). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Alemania.
- Morero Gropelli, B. M. (2010). *Revision de las principales tecnologías de purificación de biogás*. Santa Fe Argentina.
- Mott, R. (sexta edición 2006). *Mecánica de Fluidos*. Mexico, DF, Pearson.
- Perez, J. A. (2010). “*Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros*”. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Piñón, M. D. (2010, 02 15). *Eliminación del sulfuro de hidrogeno en el biogás*. Retrieved 10 22, 2015, from <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia41/HTML/Articulo05.htm>
- Piñón, M. D. (2010). *Miembro del Grupo Provincial de Biogás de Las Tunas*. Retrieved Marzo 23, 2015, from <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia41/HTML/Articulo05.htm>
- Ponce, A. A. (2001). “*Comportamiento de un reactor anaerobio de lecho fijo en el tratamiento de aguas residuales de una producción de bebidas carbonatadas*”. UNAM, México, D.F.
- Repicky. (2015, 12 10). *Repicky*. Retrieved diciembre 10, 2015, from <http://www.repicky.com.ar/sopladores-canal-lateral-caracteristicas.html>
- Sette, R. S. (1993). “*Introduction to wastewater treatment process*”. Barcelona, España.
- T. P. Limpio, «. F. (2015). <http://pisolimpio.com.co/viruta-200-gr/>. Retrieved from «Viruta Frix 200 g referencia 7128,» : <http://pisolimpio.com.co/viruta-200-gr/>
- Tubasol. (2014).
- Varnero, P. M. (2011). <http://www.rlc.fao.org>. Retrieved 11 25, 2013, from http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/publicaciones/manual_biogás.pdf

Yolima Narvaez Guevara, A. S. (2007). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor tipo piloto para la obtención de biogás y biobano a partir de la mezcla de estiércol vacuno y suero de queso*. Guayaquil.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

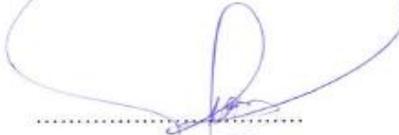
Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor, **JULIO CESAR CUNALATA MORAN**.

En la ciudad de Latacunga a los: **22 días del mes de febrero del 2017**

Aprobado por:


.....
ING. PABLO MENA
DIRECTOR


.....
ING. MARIO JIMENEZ
CODIRECTOR


.....
DR. RODRIGO VACA
SECRETARIO ACADEMICO