



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: “SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS PARA
GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA SAN
FRANCISCO”.**

AUTORA: SANDRA MARISOL IZA CHILUISA

DIRECTOR: ING. MIGUEL CARVAJAL

CODIRECTOR: ING. PABLO MENA

LATACUNGA

2015



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO”** realizado por la señora **SANDRA MARISOL IZA CHILUISA**, 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 Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señora **SANDRA MARISOL IZA CHILUISA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 de Agosto del 2015

Ing. Miguel Carvajal

DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SANDRA MARISOL IZA CHILUISA**, con cédula de identidad N° 050314946-0, declaro que este trabajo de titulación **“SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA 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, 21 de Agosto del 2015

SANDRA MARISOL IZA CHILUISA
C.C.: 050314946-0



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **SANDRA MARISOL IZA CHILUISA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE BIOGÁS PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA HACIENDA SAN FRANCISCO”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 21 de Agosto del 2015

SANDRA MARISOL IZA CHILUISA
C.C.: 050314946-0

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado infinitamente a Dios por regalarme la vida. Y bendecir cada uno de mis pasos gracias por permitirme compartir momentos de felicidad junto a mi esposo, hija, padres, hermanos y amig@s.

A mis padres Mario y Martha, por todo el amor, cariño, comprensión y sobre todo por el apoyo económico, emocional y sentimental brindado durante toda la vida, gracias a su apoyo incondicional permitieron que este sueño se convierta en una hermosa realidad. Toda su lucha y trabajo se reflejan hoy gracias por confiar en mi los amo papitos.

A mi abuelita Anita gracias por tus consejos y valores inculcados gracias por ser un ejemplo de lucha y perseverancia.

A mis hermanos Xavier, Sarita y Juan, quienes día a día me motivaron a ser un ejemplo de superación y lucha, compartiendo momentos de alegrías, tristezas, triunfos, donde siempre se ha presentado todo el cariño que nos tenemos.

A mi esposo Darwin por ser una persona excepcional. Quien me ha brindado su apoyo incondicional. Gracias por tu amor, paciencia y comprensión. A mi hija Allison Belén Por ser lo más grande y valioso que Dios me ha regalado, quien es mi fuente de inspiración y la razón que me impulsa a salir adelante. Recuerden que son lo más importante para mí.

A mis maestros que con responsabilidad supieron transmitir sus valiosos conocimientos.

Sandra Marisol

AGRADECIMIENTO

A mis padres Mario y Martha, quienes depositaron su confianza, su apoyo y su amor en mí. A ellos que por su esfuerzo incondicional han permitido forjarme como una persona de bien gracias por depositar su confianza en mí.

A mi esposo Darwin y a mi preciosa Allison, quienes son mi mayor inspiración para que este proyecto se lleve a cabo.

A mi mámi Martha gracias por ser mi má porque sin usted nada de lo que he logrado hasta ahora lo hubiese podido conseguir. A mi papi Mario, que día a día da su vida por el bienestar de mí y mis hermanos gracias por ser nuestro pa. Gracias pa y má por lo el amor brindado.

A mi esposo Darwin por el amor, el apoyo y la paciencia brindado. A mi pequeñita por ser el incentivo de lucha y superación principal. Los amo con todo mi corazón.

Queridos padres y esposo una vez más demostrarles que su sacrificio diario no fue en vano y la muestra de gratitud hacia ustedes es dedicándoles este proyecto con todo mi amor y cariño.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	
1. Aspectos generales.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Planteamiento del problema	2
1.1.3. Objetivo general.....	3
1.1.4. Objetivos específicos.....	3
1.1.5. Justificación e importancia.....	3
1.2. Biomasa y producción de biogás	4
1.3. El recurso biomásico.....	5
1.3.1. Fuentes de biomasa	5

1.3.2.	Tipos de residuos aprovechables	6
1.3.3.	Algunas características de la biomasa.....	7
1.4.	Biodigestores	7
1.4.1.	Tipos de biodigestores.....	10
1.5.	Aprovechamiento del biogás.....	17
1.5.1.	Características del biogás.....	17
1.5.2.	Factores que afectan la producción de biogás	18
1.6.	Acondicionamiento del biogás	19
1.6.1.	Eliminación del sulfuro de hidrógeno H ₂ S.....	19
1.6.2.	Incineración.....	21
1.6.3.	Adsorción.....	22
1.6.4.	Absorción.....	22
1.6.5.	Condensación	23
1.6.6.	Procesos con membranas	23
1.7.	Válvula de seguridad o trampa de condensados	28
1.8.	Tren de calibración de biogás	29
1.9.	Sopladores de canal lateral	30
1.10.	Principio de combustión	32
1.11.	Tuberías.....	33
1.11.1.	Materiales de la tuberías.....	33

CAPÍTULO II

2.	Sistema de conducción de biogás.	35
2.1.	Generalidades.....	35
2.2.	Parámetros de selección.	36
2.2.1.	Localización del digestor.....	36
2.2.2.	Producción de biogás del digestor	36
2.2.3.	Capacidad de producción de biogás del digestor.	37
2.2.4.	Características del biogás.....	38

2.3.	Dimensionamiento del generador a biogás.....	39
2.3.1.	Parámetros generales para generadores a biogás	40
2.3.2.	Dimensionamiento del generador en base al porcentaje de metano.....	40
2.3.3.	Dimensionamiento del generador en base al poder calorífico. .	41
2.4.	Selección de la válvula de seguridad.....	44
2.4.1.	Parámetros de selección	44
2.5.	Diseño del filtro de H ₂ S opción 1.	45
2.5.1.	Parámetros de diseño opción 1	45
2.5.2.	Dimensionamiento del biofiltro.	51
2.5.3.	Dimensionamiento del biofiltro con la producción actual de biogás	51
2.5.4.	Dimensionamiento del biofiltro con la producción máxima de biogás.	53
2.5.5.	Sistema de calentamiento del biofiltro.	54
2.5.6.	Calculo del diámetro de la tubería de recirculación	55
2.5.7.	Selección de la bomba de recirculación.....	56
2.6.	Diseño del filtro de H ₂ S opción 2	61
2.6.1.	Dimensionamiento del filtro.....	61
2.7.	Selección de sopladores para sistema de control de presión para el generador.....	63
2.7.1.	Parámetros de selección del soplador	63
2.8.	Diseño de la tubería de transporte de biogás	65
2.8.1.	Selección de la tubería	65
2.9.	Diseño eléctrico.	68
2.9.1.	Diagrama de control.....	69
2.9.2.	Diagrama de fuerza.	69
2.9.3.	Características del motor eléctrico para el soplador.	69
2.9.4.	Características de la bomba electrica de recirculación	73
2.9.5.	Características de la resistencia eléctrica	75
2.9.6.	Selección del interruptor termomagnético (Breaker).....	78

2.9.7.	Selección del controlador de temperatura y humedad.....	79
2.9.8.	Selección de accesorios eléctricos.	80
2.10.	Sistema eléctrico de la hacienda San Francisco con biogás. ...	81
2.10.1.	Análisis de la demanda máxima coincidente del SEP	82
2.10.2.	Curvas de la demanda máxima coincidente por áreas	83
2.10.3.	Curva de la demanda máxima coincidente del SEP.	84
2.10.4.	Valores de la demanda máxima coincidente	85
2.10.5.	Alternativas de solución para el sistema eléctrico con biogás en la Hacienda San Francisco	86
2.10.6.	Solución 1.	86
2.10.7.	Solución 2.	93
2.11.	Diseño y construcción del prototipo	99
2.11.1.	Consideraciones de diseño.....	99
2.11.2.	Manejo de los factores en el prototipo	100
2.11.3.	Criterios y consideraciones de diseño	101
2.12.	Diseño del prototipo	101
2.12.1.	Parámetros de diseño.....	101
2.12.2.	Gasómetro	103
2.12.3.	Diseño del gasómetro	104
2.12.4.	Selección de la tubería	106
2.12.5.	Selección de las válvulas.....	108
2.12.6.	Construcción del prototipo	109

CAPÍTULO III

3.	Análisis de resultados	110
3.1.	Pruebas y resultados	110

CAPÍTULO IV

4.	Análisis económico	112
4.1.	Costos de construcción y operación.	112

4.2.	Opción 1 – determinación de los costos de construcción.	112
4.2.1.	Materia prima directa (MPD).	112
4.2.2.	Mano de Obra Directa (MOD).	116
4.2.3.	Costos Indirectos (CI).	117
4.2.4.	Determinación de los costos de operación.	119
4.2.5.	Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento.	119
4.2.6.	Costos mano de obra de operadores.	119
4.2.7.	Calculo del ingreso total opcion 1	120
4.2.8.	Cálculo de flujos de caja.	121
4.2.9.	Cálculo del VAN, TIR, tiempo de recuperación.	123
4.2.10.	Cálculo del VAN (Valor actual neto).	123
4.2.11.	Cálculo de la TIR (Tasa Interna De Retorno).	124
4.2.12.	Tiempo de recuperación de la inversión (TR).	124
4.3.	Opción 2 – determinación de los costos de construcción.	126
4.3.1.	Materia prima directa (MPD).	126
4.3.2.	Mano de Obra Directa (MOD).	130
4.3.3.	Costos Indirectos (CI).	131
4.3.4.	Determinación de los costos de operación.	132
4.3.5.	Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento.	133
4.3.6.	Costos mano de obra de operadores.	133
4.3.7.	Calculo del ingreso total.	134
4.3.8.	Cálculo de flujos de caja.	134
4.3.9.	Cálculo del VAN, TIR, tiempo de recuperación.	136
4.3.10.	Cálculo del VAN (Valor Actual Neto).	137
4.3.11.	Cálculo de la TIR (Tasa Interna De Retorno).	137
4.3.12.	Tiempo de recuperación de la inversión (TR).	137

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	139
5.1.	CONCLUSIONES.	139
5.2.	RECOMENDACIONES.	140

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
---	------------

ANEXOS	145
---------------------	------------

ANEXO A: Ubicación de la Hacienda San Francisco

ANEXO B: Cromatografías del biogás

ANEXO C: Generadores a biogás

ANEXO D: Válvula de seguridad

ANEXO E: Coeficiente de fricción, diagrama de Moody, viscosidad

ANEXO F: Bomba de recirculación

ANEXO G: Soplador

ANEXO H: Diagrama de control y fuerza

ANEXO I: Accesorios eléctricos

ANEXO J: Diagramas del sistema eléctrico de potencia de la Hacienda San Francisco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Ciclo de la biomasa.....	5
Figura 2:	El ciclo de la biomasa en el biodigestor	9
Figura 3:	Digestor carga en Bach	12
Figura 4:	Esquema de flujo de digestores más utilizados para la generación energía eléctrica.....	13
Figura 5:	Digestor sistema CSTR	15
Figura 6:	Sistema dos etapas hidrolisis – digestor.....	16
Figura 7:	Biolavador.....	26
Figura 8:	Biofiltro.....	27
Figura 9:	Biofiltro de escurrimiento	28
Figura 10:	Válvula de seguridad o trampa de condensado	29
Figura 11:	Tren de calibración de acuerdo a la norma.....	30
Figura 12:	Sopladores de canal lateral	31
Figura 13:	Provincia de Cotopaxi	36
Figura 14:	Digestor Hacienda San Francisco.....	38
Figura 15:	Generador a biogás	39
Figura 16:	Especificaciones técnicas de generadores.	43
Figura 17:	Válvula de seguridad y anti explosión.....	44
Figura 18:	Filtros de H ₂ S.....	45
Figura 19:	Biofiltro de escurrimiento.	46
Figura 20:	Sistema de calentamiento.....	54
Figura 21:	Bomba circuladora UPS 100.....	57
Figura 22:	Soplantes con motor a 60 Hz (3500 rpm)	64
Figura 23:	Diagrama de caudal-presión soplantes con motor a 60 Hz (3500 rpm).....	64
Figura 24:	Sistema eléctrico de potencia Hacienda San Francisco	82
Figura 25:	Curva demanda máxima Área - Biodigestor	83
Figura 26:	Curva demanda máxima Área – Establo	83
Figura 27:	Curva demanda máxima Área – Rociadores	84
Figura 28:	Curva demanda máxima Área – Pivotes.....	84

Figura 29:	Curva demanda máxima SEP Hacienda San Francisco.....	85
Figura 30:	Demanda máxima coincidente área biodigestor	88
Figura 31:	Demanda máxima coincidente SEP Hacienda San Francisco	89
Figura 32:	Solución 1	91
Figura 33:	Demanda máxima coincidente área biodigestor	94
Figura 34:	Demanda máxima coincidente SEP Hacienda San Francisco	95
Figura 35:	Solución 2	97
Figura 36:	Gasómetro.	104
Figura 37:	Esquema general del prototipo	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Composición del biogás	17
Tabla 2:	Equivalencias energéticas 1 m ³ de biogás.....	18
Tabla 3:	Factores que intervienen en la producción de biogás	18
Tabla 4:	Propiedades del H ₂ S.....	20
Tabla 5:	Efectos sobre la salud: Exposiciones al ácido sulfhídrico	20
Tabla 6:	Tipos de reactores biológicos para la eliminación de gases contaminante.....	24
Tabla 7:	Ventajas y desventajas de materiales de tuberías para el transporte de biogás	33
Tabla 8:	Control de producción de biogás en la Hacienda San Francisco	37
Tabla 9:	Características del biogás por cromatografía.....	38
Tabla 10:	Parámetros generales del generador a biogás.	40
Tabla 11:	Potencia del generador	42
Tabla 12:	Especificaciones técnicas de la válvula de seguridad-trampa de condensados	45
Tabla 13:	Tipos de microorganismos y soportes utilizados en biofiltración.....	47
Tabla 14:	Datos de eliminación de H ₂ S en biofiltros de escurrimiento.	49
Tabla 15:	Parámetros de diseño	51
Tabla 16:	Bombas de recirculación serie UPS 100.....	60
Tabla 17:	Materiales utilizados para el sistema de calentamiento.	61
Tabla 18:	Parámetros de diseño	62
Tabla 19:	Diseño de la tubería	65
Tabla 20:	Características del motor (Soplador).....	70
Tabla 21:	Especificaciones del contactor.....	70
Tabla 22:	Características del relé térmico.....	71
Tabla 23:	Características de la bomba de recirculación	73

Tabla 24:	Especificaciones del relé auxiliar	73
Tabla 25:	Características de la resistencia eléctrica	75
Tabla 26:	Especificaciones del relé auxiliar	76
Tabla 27:	Características del interruptor termo magnético	78
Tabla 28:	Características del controlador de temperatura y humedad.....	79
Tabla 29:	Características del interruptor	80
Tabla 30:	Características del selector.....	80
Tabla 31:	Características del pulsador.....	81
Tabla 32:	Características de las luces indicadoras	81
Tabla 33:	Carga instalada en los transformadores	82
Tabla 34:	Valores de demanda máxima coincidente	85
Tabla 35:	Seccionamiento de Dependencias.....	87
Tabla 36:	Demanda Máxima Coincidente Solución	89
Tabla 37:	Demanda Máxima con Porcentaje de Distorsión Armónica.....	90
Tabla 38:	Elementos y Equipos que intervienen en la Solución1.....	92
Tabla 39:	Demanda Máxima Coincidente Solución	95
Tabla 40:	Demanda Máxima con Porcentaje de Distorsión Armónica.....	96
Tabla 41:	Elementos y Equipos que intervienen en la Solución 2.....	98
Tabla 42:	Bitácora de carga diaria	102
Tabla 43:	Características del biogás.....	102
Tabla 44:	Especificaciones técnicas del motor generador	103
Tabla 45:	Datos de diseño	105
Tabla 46:	Diseño de la tubería.....	106
Tabla 47:	Características de las válvulas.....	109
Tabla 48:	Pruebas y resultados	110
Tabla 49:	Costos de implementación del sistema de conducción.....	113
Tabla 50:	Costos de Implementación del Filtro de H ₂ S opción 1	114
Tabla 51:	Costos de Implementación del Filtro de H ₂ S opción 2	114
Tabla 52:	Costo de materiales para el tablero de control.....	115

Tabla 53:	Materia Prima Directa.	116
Tabla 54:	Mano de Obra Directa.....	117
Tabla 55:	Costos Indirectos	117
Tabla 56:	Inversión Total.....	118
Tabla 57:	Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento	119
Tabla 58:	Costos mano de obra de operadores.....	120
Tabla 59:	Costos de operación	120
Tabla 60:	Ingreso Total	120
Tabla 61:	Inversión total para un año proyectado.....	121
Tabla 62:	Tasa de interés activas efectivas vigentes.....	121
Tabla 63:	Amortización de préstamos.....	122
Tabla 64:	Flujo de caja.....	122
Tabla 65::	Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.....	125
Tabla 66:	Costos de implementación del sistema de conducción.....	126
Tabla 67:	Costos de Implementación del Filtro de H ₂ S opción 1	128
Tabla 68:	Costos de Implementación del Filtro de H ₂ S opción 2	128
Tabla 69:	Costo de materiales para el tablero de control.....	129
Tabla 70:	Materia Prima Directa.	130
Tabla 71:	Mano de Obra Directa.....	131
Tabla 72:	Costos Indirectos	131
Tabla 73:	Inversión Total.....	132
Tabla 74:	Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento	133
Tabla 75:	Costos mano de obra de operadores.....	133
Tabla 76:	Costos de operación	134
Tabla 77:	Ingreso Total	134
Tabla 78:	Inversión total para un año proyectado.....	135
Tabla 79:	Tasa de interés activas efectivas vigentes.....	135
Tabla 80:	Amortización de préstamos.....	136
Tabla 81:	Flujo de caja.....	136
Tabla 82:	Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.....	138

RESUMEN

El presente proyecto, consta del sistema de conducción de biogás para generar energía eléctrica en la Hacienda San Francisco, el cual está conformado por un sistema de control de presión, sistema de purificación del biogás, sistema de caudal de biogás y un sistema de generación de energía eléctrica con biogás. El sistema de control de presión consta de una válvula o trampa de condensados donde se mantiene una presión de trabajo de 2 mBar así como también atrapa los condensado producidos en el biogás. Sistema de purificación de biogás: para el dimensionamiento del biofiltro se realiza un análisis del biogás donde se tiene un porcentaje promedio de H_2S de 0,08 % es decir de 800 ppm, por lo que se dimensiona un biofiltro de H_2S para la purificación de biogás en el cual se debe mantener una temperatura de $35^{\circ}C$ para obtener una purificación optima de hasta el 97 % de purificación es decir que se tiene 24 ppm. Sistema de caudal de biogás: en este sistema se tiene un soplador el cual mantendrá una presión de 55 mBar y caudal de 23 m³/h requeridos por el generador. Sistema de generación de energía con biogás: para el dimensionamiento del generador a biogás se realiza un análisis del biogás donde se determinan el contenido de metano promedio de 51.45% y su poder calorífico promedio es de 521.24 BTU/ft³, y en función de estas propiedades se dimensiona un generador a biogás de 15 KVA / 12 KW.

PALABRAS CLAVE:

- **BIOGÁS – SISTEMA DE CONDUCCIÓN**
- **BIO COMBUSTIBLES**
- **HACIENDA SAN FRANCISCO**

ABSTRACT

This project consists of the conduction system of biogas to generate electricity in the Hacienda San Francisco, which is comprised of a pressure control system, biogas purification system, flow system and a biogas generation system electricity with biogas. The pressure control system comprises a valve or condensate trap where a working pressure 2 mbar as traps and the biogas produced condensate is maintained. Biogás purification system: for sizing analysis biofilter where the biogas has an average percentage of 0.08% H₂S and 800 ppm is performed, so that an H₂S is dimensioned biofilter for the purification of biogas in which should be kept at 35 ° C for optimum purification of up to 97% of purification is that is 24 ppm. Biogas flow system: This system has a blower which will maintain a pressure of 55 mbar and flow 7, 8 m³ / h required by the generator. Power generation system with biogas: for sizing the generator biogas Biogás analysis where the average methane content of 51.45% and are determined calorific average of 521.24 BTU / ft³ is performed, and based on these properties biogas generator of 15 KVA / 12 KW is dimensioned.

KEYWORDS:

- **BIOGAS - DRIVING SYSTEM**
- **BIOFUELS**
- **HACIENDA SAN FRANCISCO**

CAPÍTULO I

1. Aspectos generales

1.1. Generalidades

1.1.1. Antecedentes

La Hacienda “San Francisco” dedicada al sector ganadero, cuenta con un biodigestor de 1200 metros cúbicos de capacidad tipo membrana, que fue construido con el afán de manejar de manera adecuada los desechos orgánicos que allí se producen.

Actualmente el biodigestor está en funcionamiento aunque no en condiciones óptimas, además el biogás que éste produce no está siendo aprovechado de manera eficiente, es decir no se le está dando un adecuado manejo técnico.

Debido a su alto contenido de humedad y otros gases contaminantes el biogás debe tratarse y acondicionarse previo a su aprovechamiento en generadores para la producción de energía eléctrica.

El biogás tiene un alto poder energético de aproximadamente 6,25 kwh por cada metro cúbico, este valor depende del contenido del gas metano.

El biogás que se aprovecha en generadores tiene que cumplir ciertas condiciones técnicas relativas al volumen, contenido y calidad del CH₄, presión de servicio, seguridad y control. Si estos parámetros no se cumplen los generadores no funcionan óptimamente o simplemente dejan de funcionar.

En las mejores condiciones, este biodigestor es capaz de generar aproximadamente 50 metros cúbicos por cada hora.

1.1.2. Planteamiento del problema

El excedente de biogás que se está expulsando a la atmosfera, pudiera ser aprovechado de manera eficiente, al ser aplicado en generación de energía eléctrica en base a biogás, ya que este podría reducir el consumo de energía eléctrica que demanda la hacienda San Francisco por las diferentes actividades que realiza, evidentemente estas generan representativos egresos económicos, que podrían ser minimizados ya que se dispone de un generador de energía eléctrica de 75 kW.

El debido manejo técnico del gas metano producido a partir de desechos orgánicos nos permite obtener varias formas de aprovechamiento, siendo la generación de energía eléctrica una de las alternativas más atractivas tanto desde el punto de vista ambiental como del punto de vista financiero, en el presente estudio se pretende afirmar esta alternativa, este proyecto nos servirá como base para industrializar la producción de esta energía alternativa renovable, aprovechando eficientemente el combustible más económico del mercado nacional, reduciendo el impacto ambiental, disminuyendo la dependencia del petróleo y finalmente contribuyendo de manera directa al desarrollo del país.

El incremento del consumo energético, nos lleva a buscar una nueva fuente de energía renovable, es por eso, que se plantea la necesidad del diseño del sistema de conducción de biogás para generadores utilizando el biogás como combustible principal, y a más de ello contribuya de alguna manera a frenar la contaminación del medio ambiente.

1.1.3. Objetivo general

Diseñar el sistema de conducción del biogás para un generador de energía eléctrica en la Hacienda San Francisco

1.1.4. Objetivos específicos

Recopilar el sustento teórico necesario para el desarrollo del proyecto.

Cuantificar el recurso para generación de energía eléctrica.

Diseñar el sistema de reducción y eliminación de H₂S y trazas de otros gases.

Realizar los planos del sistema de conducción de biogás para un generador

1.1.5. Justificación e importancia

La Hacienda “San Francisco”, cuenta ya con el biodigestor instalado, tipo membrana y tiene una capacidad de 1200 metros cúbicos, a pesar de que éste no está trabajando en condiciones óptimas, produce una representativa cantidad de biogás, que no está siendo aprovechado eficientemente.

Por otra parte, disponen de un generador a gas de 75 kW, que fue donado por el Ministerio del Ambiente, con el propósito de que se lo ponga en marcha, aprovechando las características constructivas del biodigestor.

Los beneficios son primordialmente, económicos y de ayuda a la conservación del medio ambiente.

El diseño de este sistema y el estudio del mismo validara o no la puesta en marcha del generador que se tiene en la hacienda, o se deberá dimensionar otro generador dependiendo de la capacidad del biodigestor.

1.2. Biomasa y producción de biogás

El término biomasa o sustrato se refiere a toda la materia orgánica que proviene del estiércol de animales, árboles, plantas, desechos orgánicos que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura como residuos de maíz, café y arroz, del aserradero como ramas, aserrín y cortezas, de los residuos urbanos de aguas residuales y basura orgánica. Por lo tanto la biomasa es la materia orgánica no fosilizada originada en un proceso biológico espontáneo o provocado, utilizado como fuente de energía aunque puede tener diferentes usos industriales.

La biomasa contiene carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno como cada ser vivo, y por lo tanto presentará el potencial para la combustión. Esta combustión entonces ofrecerá la energía en forma de calor y electricidad. [1]

Hace más de 100 años, la biomasa de origen animal o vegetal, era la fuente de energía más importante para la humanidad y en ella se basaba la producción industrial. Con el uso masivo de combustibles fósiles el aprovechamiento energético de la biomasa fue disminuyendo progresivamente y en la actualidad presenta en el mundo un reparto muy desigual como fuente de energía.

En los países desarrollados ubicados en América del Norte y Europa la energía renovable y el aprovechamiento de los desechos agropecuarios está en auge, en muchos países en vías de desarrollo esta fuente de energía provoca, en muchos casos problemas medioambientales como la contaminación y deforestación.

El elevado costo del petróleo y los avances técnicos que han posibilitado la aparición de sistemas de aprovechamiento energético de los desechos orgánicos, ha ocasionado que esta fuente de energía renovable se empiece

a considerar como una alternativa viable técnica y económica al uso de combustibles fósiles.

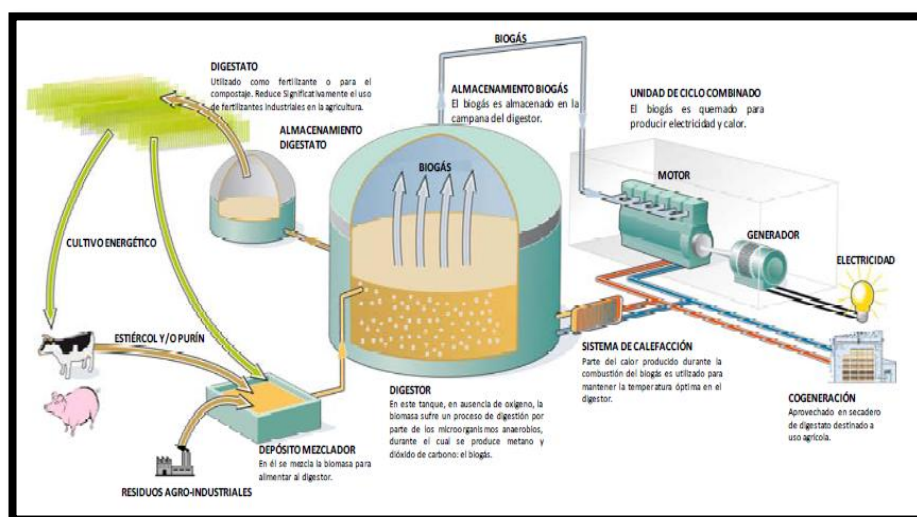


Figura 1: Ciclo de la biomasa

Fuente: [2]

1.3. El recurso biomásico

En muchas ocasiones, la biomasa es eliminada por la instalación que la produce, porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se desperdicia una fuente de energía importante, se puede considerar que, aproximadamente, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 kcal, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

1.3.1. Fuentes de biomasa

Las fuentes de biomasa que pueden ser utilizadas para la producción de energía son muy variadas y comprenden un amplio rango de materiales, desde los desechos de las ciudades hasta los desechos de procesos industriales, forestales y agrícolas.

Los residuos agrícolas como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos artesanales, como por ejemplo en la cocción de alimentos y en pequeñas actividades productivas como las panaderías y en el secado de granos. Las granjas producen un gran volumen de estiércol de animales, los cuales son esparcidos en los campos con el inconveniente de la sobre fertilización y contaminación de cuencas hidrográficas.

1.3.2. Tipos de residuos aprovechables

Los residuos, desechos o sustratos que se pueden aprovechar para la generación de biogás y fertilizante orgánico son muy variados. A continuación se indican los más comunes:

- Residuos de cosechas: tallos y hojas de caña de azúcar, malezas, paja, rastrojo de maíz, espárragos, papas y otros cultivos.
- Residuos de origen animal: Desechos de establos tales como estiércol, orina, camas de gallinas ponedoras, boñigas de cabras y ovejas, desperdicios de matadero como sangre, vísceras, desperdicios de pesca, restos de lana y cuero.
- Residuos de origen humano: basura orgánica, restos de comidas y mercados, de restaurantes, heces, orina.
- Residuos agroindustriales: bagazo, salvado de arroz, desechos de tabaco y semillas, desperdicios del procesamiento de hortalizas y frutas, limos de prensas de ingenios azucareros, residuos de té, polvo de las desmotadoras de industria textil, desechos de la acuicultura, restos de materia prima, cebadas, levaduras.
- Productos agrícolas como pastos, forrajes de maíz, alfalfa, plantas tuberculosas como topinambur (tubérculo parecido al girasol), piñón (fruto del pino), papas, restos de frutas.
- Basuras acumuladas en rellenos sanitarios. Aguas residuales agroindustriales y domésticas. Lodos de plantas depuradoras.

- Grasas de procesos agropecuarios y agroindustriales.

Como se puede observar, no hay límite para el uso de residuos orgánicos y su aprovechamiento en biodigestores o plantas de biogás.

1.3.3. Algunas características de la biomasa.

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión de energía que se puede utilizar en cada caso en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican procesos de combustión directa o termoquímica, los desechos animales indican el uso de procesos anaeróbicos.

Las características químicas y físicas de la biomasa, determinan el tipo de combustible que se puede generar. El contenido de humedad de la biomasa, es la relación de la masa del agua contenida por kilogramo de materia seca. Es necesario que para los procesos de conversión de la energía la cantidad de humedad sea inferior al 30 %. [3]

El poder calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa y está relacionado directamente con su contenido de humedad.

Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión, debido a que una parte del calor liberado se utiliza en la evaporación del agua.

1.4. Biodigestores

La técnica anaeróbica utilizada en el procesamiento de los desechos agrícolas, industriales y urbanos orgánicos, es una forma muy económica y

efectiva, para el tratamiento de estos desechos y a su vez utilizarlos como energías alternativas.

Para diseñar, construir y operar plantas de biogás (llamadas biodigestores) es necesario conocer los procesos fundamentales involucrados en la fermentación del metano.

Este proceso anaeróbico involucra la actividad de cuatro diferentes comunidades bacterianas. Así, el biogás se obtiene al descomponerse la materia orgánica debido a la acción de cuatro tipos de bacterias, en ausencia de oxígeno, llamada fermentación anaeróbica.

Los tipos de bacterias presentes en el proceso son las siguientes:

- a) **Las hidrolíticas**, que producen ácido acético, de compuestos mono carbonados, ácidos grasos orgánicos y otros compuestos poli carbonados.
- b) **Las acetogénicas**, productoras de hidrógeno.
- c) **Las homoacetogénicas**, que pueden convertir una cantidad considerable de compuestos multicarbonados o mono carbonados en ácido acético.
- d) **Las metano génicas**, productoras del gas metano, principal componente del biogás, con una proporción de 40 a 70 % de metano (CH_4), de 30 a 60 % de dióxido de carbono (CO_2). [4]

El sustrato o afluente es el material de partida en la producción de biogás. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo, sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción sencillas.

Excremento y orina de vacas, cerdos y posiblemente aves de corral son algunos ejemplos. A veces, también pueden usarse los desperdicios de las plantas de producción de alimentos.

Cuando se llena una planta de biogás, el excremento sólido debe diluirse con aproximadamente la misma cantidad de líquido, en lo posible orina. La máxima producción de gas que se puede conseguir a partir de una cantidad dada de materia prima depende del sustrato que se utilice.

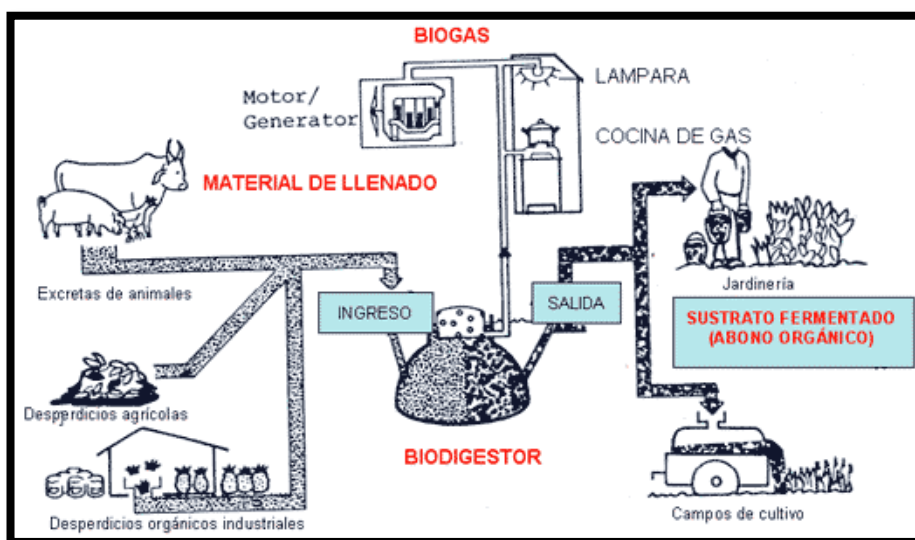


Figura 2: El ciclo de la biomasa en el biodigestor

Fuente: [5]

Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. La materia que abandona el biodigestor llamada efluente constituye un gran abono orgánico.

En la **Figura 2** se puede apreciar un sistema típico de biogás donde se tiene los diferentes desechos orgánicos producidos en la industria y la agricultura, los cuales ingresan al biodigestor donde se fermentan para

producir biogás para ser utilizado en la cocción, iluminación, generación, etc. y el efluente utilizado como abono.

1.4.1. Tipos de biodigestores.

Existen diversos tipos o modelos de biodigestores los cuales varían en forma y tamaño de acuerdo a su aplicación o caso específico.

En general los biodigestores son recipientes cerrados donde en ausencia total de oxígeno, los microorganismos que son estrictamente anaeróbicos, descomponen la materia orgánica, produciendo metano más otros gases.

El biodigestor debe estar completamente sellado para facilitar el crecimiento de bacterias anaeróbicas, además para evitar pérdida del gas producido.

Los biodigestores constan de dos partes fundamentales [6]:

- La cámara de fermentación donde la biomasa sufre la descomposición por parte de las bacterias anaeróbicas produciendo un gas combustible, llamado biogás.
- La segunda es la cámara donde se almacena el gas.

Aparte de estas se tiene otras partes que varían según el tipo de biodigestor, estas son:

- La pila de carga, es por donde ingresa el afluente al biodigestor, este afluente se debe preparar con una relación determinada de agua o líquidos orgánicos dependiendo el tipo de biomasa que se utiliza.
- La pila de descarga, es por donde se obtiene el efluente que es un excelente abono orgánico, para ser esparcido en los terrenos de cultivo.

- El agitador el cual se utiliza para remover las natas que se forman en la superficie del digestor.
- La tubería del gas, es por donde sale el gas del biodigestor para luego ser quemado.

Entre los tipos de biodigestores están [1]:

a) Digestores de carga en bath

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 por falta de personal o cuando la materia orgánica no existe en forma continua.

Las ventajas de este tipo de digestores son:

- Procesar una gran variedad de sustratos.
- La carga puede recopilarse en campo abierto, porque aunque, tenga tierra u otro inerte mezclado, no afecta la operación del biodigestor.
- Admitir cargas secas que no absorben humedad, así como con materiales que flotan en el agua.
- Su trabajo en ciclos los hace aptos para en que la disponibilidad de materia prima no es continua, sino periódica.
- No requiere prácticamente ninguna atención diaria.

Las desventajas son:

- La carga y descarga requiere de un considerable y paciente trabajo.

b) Horizontales o de desplazamiento

Generalmente se construyen enterrados, son poco profundos y alargados, semejando a un canal. Utilizan el sistema de operación semicontinuo, entrando la carga por un lado y saliendo por el otro extremo.



Figura 3: Digestor carga en Bach

Fuente: [1]

c) Digestores de régimen semicontinuo

Se utiliza generalmente en áreas rurales y en pequeñas granjas agrícolas. Son sistemas de uso doméstico. Se cargan por gravedad una vez al día con volúmenes de mezclas que depende del tiempo, de retención. Producen una cantidad de biogás y fertilizante constante durante todo el día.

d) Digestores de régimen continuo

Este tipo de digestores se desarrolló principalmente para el tratamiento de aguas residuales y en la actualidad su uso se ha extendido al manejo de todo tipo de sustratos. Se lo utiliza para plantas de biogás para la producción de energía eléctrica. Son digestores de gran tamaño en los que se emplea equipos comerciales para su alimentación, para la agitación y control.

Las ventajas de este tipo de digestor son:

- Se cargan directamente en forma periódica, la biomasa debe ser fluida y homogénea.
- Se pueden automatizar con facilidad, este tipo de digestores permite controlar la digestión con el grado de precisión que se requiere.
- Se corrige fácilmente cualquier anomalía que se presente en el proceso.
- Permite manejar las variables relacionadas, carga volumétrica, tiempo de retención y temperatura, a largos periodos.

Las desventajas de este tipo de digestores son:

- No poseer un diseño apropiado para tratar sustratos fibrosos o aquellos cuyo peso específico sea menor que el del agua.
- En ocasiones tiene problemas de limpieza de sedimentos, espuma, costras e incrustaciones.
- Para mejorar la producción de metano de este tipo de digestores, es conveniente disponer de la cantidad y calidad adecuada de sólidos volátiles.

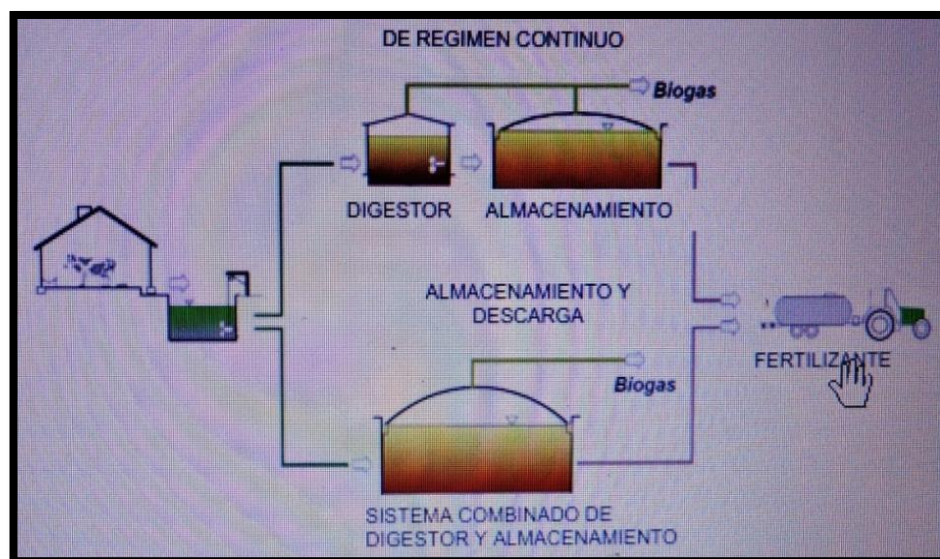


Figura 4: Esquema de flujo de digestores más utilizados para la generación energética eléctrica

Fuente: [1]

e) Completamente mezclados

A diferencia de los anteriores, estos sistemas requieren menores tiempos de retención de 10 a 30 días.

Las ventajas de este tipo de digestor son:

- Se aplican a residuos con alto porcentaje de sólidos totales, a fin de lograr un mayor contacto entre biomasa microbiana y el sustrato.
- Este tipo de biodigestores se los construye en sitios donde se tiene poco espacio, debido al tanque de mezcla.
- Trabajan en rangos de temperatura mesófila (organismos con temperaturas óptimas de crecimiento de entre 15 – 35 °C) y termófila (organismos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura de hasta 45 °C) y se los utiliza muy eficientemente para degradar desechos sólidos.
- Tienen un elevado rendimiento de metano.

Las desventajas de este tipo de digestor son:

- Baja velocidad de carga con que pueden ser operados.
- Complejidad del sistema de mezclado. Se utilizan agitadores de hélice o paleta.
- Elevados costos de construcción y mantenimiento. Este tipo de digestores se los construye en acero u hormigón.

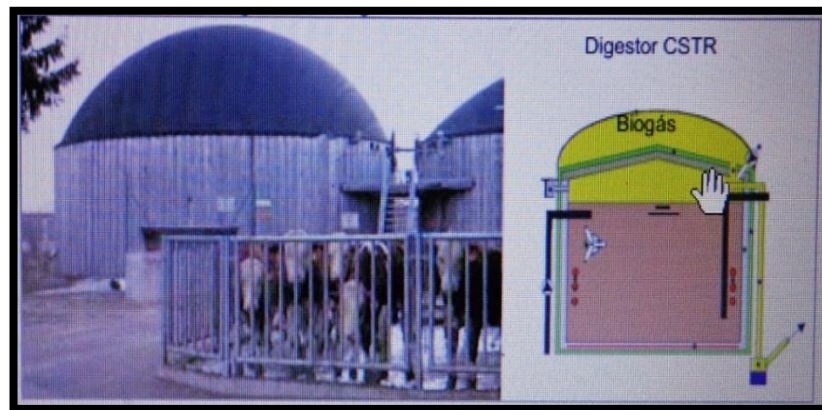


Figura 5: Digestor sistema CSTR

Fuente: [1]

f) Digestores de dos etapas

Existen múltiples combinaciones de digestores de dos etapas. La concepción de estos sistemas está basada en el hecho de que varios grupos de bacterias involucradas en el proceso de descomposición de la materia orgánica compleja requieren de diferentes condiciones de PH y temperatura de retención para su óptimo crecimiento.

En estos sistemas, en el primer digestor ocurre la hidrólisis y ácido génesis de la materia orgánica compleja, mientras que en el segundo se lleva a cabo la acetogénesis y metano génesis del material acidificado.

La desventaja de este tipo de digestor es:

- Tiene largos tiempos de retención hidráulica, requeridos en la primera fase de tratamiento
- Baja eficiencia de degradación.

La velocidad de conversión total y la eficiencia global es determinada por la etapa de la hidrólisis y acidificación.

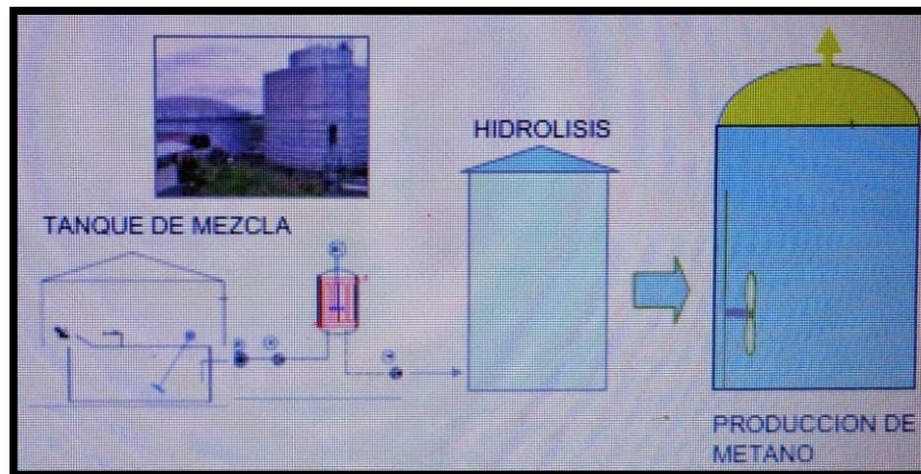


Figura 6: Sistema dos etapas hidrolisis – digestor

Fuente: [1]

g) Digestión seca

Este tipo de digestión es referida al proceso de degradación de residuos orgánicos con concentraciones de sólidos totales del orden del 20 % o superiores. La definición “seca” no es técnicamente muy clara ya que siempre se utiliza un medio acuoso para la digestión anaeróbica.

Las ventajas de este tipo de sistema son:

- Bajos consumos de agua. Se requiere una mínima cantidad de agua para llevar a cabo el proceso.
- El volumen del digestor es relativamente pequeño, debido a la alta densidad de materia orgánica con que es operado.
- Bajos requerimientos energéticos, con el fin de mantener una temperatura controlada del sistema.

1.5. Aprovechamiento del biogás

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

1.5.1. Características del biogás

El biogás tiene un poder calorífico de 4.700 a 5.500 kcal/m³ o equivalente de 5 a 7 kWh/m³ dependiendo del contenido de gas metano (CH₄) y puede generar una cantidad de calor equivalente a 22.000 BTU/m³ o de 21.5 MJ/m³, 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 a 750 °C. La cantidad de 1 m³ de biogás que se aprovecha en un generador de energía eléctrica es suficiente para generar un estimado de 2.2 kWh de electricidad, generar 20 horas de luz equivalente a un bombillo de 110 W o hacer funcionar un motor de 3 HP durante una hora. [1]

Todos los valores dependen considerablemente de la eficiencia de los equipos que se utilizan para el aprovechamiento del biogás. En la **Tabla 1** se muestra la composición del biogás.

Tabla 1:

Composición del biogás

Componentes	Unidad	Contenido
Metano	%	60 – 70
Dióxido de carbono	%	30 – 40
Hidrogeno	%	5 – 10

CONTINÚA 

Nitrógeno	%	1 – 2
Oxígeno	%	0,1
Sulfuro de hidrogeno	%	0,1 – 2
Saturación con vapor de agua	%	80 – 100

Fuente: [1]

En la **Tabla 2** se presentan algunas equivalencias energéticas del biogás.

Tabla 2:

Equivalencias energéticas 1 m³ de biogás

Cantidad equivalente	Tipo de biomasa o sustrato	Capacidad energética
0,6 kg	De diésel	12 kWh/kg
0,7 kg	Carbón	8,5 kWh/kg
0,6 m ³	Gas natural	5.3 kWh/m ³
0,24 m ³	Gas propano	25 kWh/m ³
1 m ³ biogás	Generar electricidad	2,2 kWh
1 m ³ biogás	Genera 20 horas de Luz equivalente a una bombilla	100 W
1,43 kg	Madera	4,5 kWh

Fuente: [1]

1.5.2. Factores que afectan la producción de biogás

Existen varios factores que influyen en la producción de biogás, que determinaran la calidad de biogás, como se observa en la **Tabla 3**.

Tabla 3:

Factores que intervienen en la producción de biogás

Factores	Rangos
Tipo de sustrato	Material Orgánico

CONTINÚA 

Temperatura	5 - 55 °C
Nivel de acidez (pH)	6.6 - 7.6
Carga volumétrica	Depende de la materia Orgánica
Tiempo de retención hidráulico	Depende de la materia Orgánica
Relación Carbono/Nitrógeno	Depende de la materia Orgánica
Concentración del sustrato	Depende de la materia Orgánica
Grado de mezclado	Depende de la materia Orgánica
Presencia de compuestos inhibidores	Depende de la materia Orgánica

Fuente: [1]

1.6. Acondicionamiento del biogás

Debido a su alto contenido de humedad y otros gases contaminantes el biogás debe tratarse y acondicionarse previo a su aprovechamiento en generadores para la producción de energía eléctrica.

A continuación se indican las características del biogás que deben acondicionarse.

- Reducción y/o eliminación del sulfuro de hidrógeno H_2S y trazas de otros gases, purificación.
- Eliminación de condensados.
- Corrección, calibración y control de presión.

1.6.1. Eliminación del sulfuro de hidrógeno H_2S

En un ambiente anaerobio, las bacterias sulfato reductoras producen ácido sulfhídrico como consecuencia de su metabolismo de degradación de los sulfatos presentes en el agua residual.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es un gas incoloro y muy tóxico con olor característico a huevos podridos. En la **Tabla 4** se detallan algunas de las propiedades físico-químicas más importantes. [7]

Tabla 4:

Propiedades del H_2S

Propiedades del H_2S	
Peso molecular	34,08
Solubilidad en agua (g/100 ml)	437 ml (0 °C), 186 ml (40 °C)
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,19
Temperatura de auto ignición	260 °C
Límites de explosividad (% en volumen en el aire)	4,3 – 45,5

Fuente: [8]

El límite de detección es excesivamente bajo y varía, dado que la sensibilidad a la hora de detectar un olor depende de muchos factores, tanto del individuo (sensibilidad, subjetividad, costumbre, etc.) como ambiental (humedad, temperatura, etc.).

En la **Tabla 5** se exponen los efectos que provocan las exposiciones a H_2S en el ser humano.

Tabla 5:

Efectos sobre la salud: Exposiciones al ácido sulfhídrico

H_2S	Efectos sobre la salud
Ppmv	
< 1	Olor detectable
10	Posible irritación en los ojos y garganta, pérdida del sueño después de exposición es prolongadas. Efectos reversibles.

CONTINÚA 

20-200	Irritación de ojos y tracto respiratorio, pérdida del olfato, dolor de cabeza y náuseas
100	Inmediatamente peligroso para la vida y salud. Efectos irreversibles.
200	La exposición continuada puede causar edema pulmonar así como inflamación de ojos y párpados.
500-700	Afecta al sistema nervioso central, exposiciones durante pocos minutos causan pérdida del conocimiento, equilibrio y cese de la respiración.
700-1000	Pérdida inmediata de la consciencia, daños permanentes en el cerebro y muerte sino se retira a la persona inmediatamente.

Fuente: [8]

Para la eliminación del sulfuro de hidrógeno H_2S se han utilizado tecnologías de base físico-químicas, destacando entre ellas:

- La incineración,
- La adsorción,
- La absorción,
- La biológica,
- La condensación y;
- Los procesos con membranas.

A continuación se va describir cada una de las tecnologías físico-químicas.

1.6.2. Incineración

Se trata de un proceso en el cual el contaminante es capturado por un sistema de extracción, precalentado, mezclado y oxidado a altas temperaturas dando como resultado otros compuestos, dióxido de carbono y agua en el caso de hidrocarburos, aunque se puede formar ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico o dióxido de azufre por la presencia de cloro, flúor o azufre

respectivamente. La formación de óxidos de nitrógeno es también posible durante la incineración. Las eficiencias de la oxidación son mayores del 99% [8].

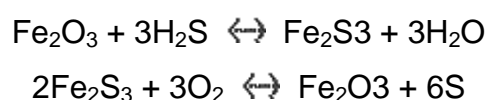
1.6.3. Adsorción

La adsorción es la transferencia selectiva de uno o más solutos de una fase fluida a partículas sólidas. Los compuestos son eliminados de la corriente gaseosa al transferirse a la superficie sólida del adsorbente; estos sólidos presentan una alta relación superficie volumen.

Los adsorbentes más utilizados son el carbón activo, sílica gel, zeolita, resinas sintéticas, etc.

1.6.4. Absorción

Absorción del H₂S a partir de óxido de hierro. El método se apoya en la reacción química siguiente:



Pueden utilizarse otras formas del óxido de hierro. Sin embargo, según la literatura existente, solo se describen al $-\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y al $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ como los más efectivos para la eliminación del H₂S [9].

El $-\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y el $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ actúan sobre el H₂S muy rápidamente y se transforman en un compuesto de sulfuro de hierro del tipo 3, que es muy fácil de convertir al estado de Fe₂O₃ activo, gracias al oxígeno del ambiente.

El compuesto Fe₂O₃ no se disuelve, por lo que se puede separar y sacar del compuesto e inmediatamente después éste se oxida con el oxígeno del

ambiente. Y el Fe_2O_3 vuelve a dar la vuelta al ciclo tecnológico para convertirse en un nuevo Fe_2O_3 .

1.6.5. Condensación

La condensación se define como el proceso por el cual un vapor se transforma en un líquido. Esto ocurre cuando el vapor es enfriado por debajo de su temperatura de saturación produciéndose la nucleación de gotas de líquido.

Esta nucleación puede ocurrir homogéneamente dentro del vapor o heterogéneamente sobre las paredes del equipo, siendo posible ser convertido cualquier gas en un líquido si se disminuye lo suficiente la temperatura y/o incrementa la presión.

1.6.6. Procesos con membranas

Los procesos con membrana se basan en las diferentes velocidades de permeabilidad a través de una delgada membrana de los compuestos. La fuerza impulsora es la diferencia de presión a ambos lados de la membrana.

Debido a esto un 100% de eficacia no es posible y algún producto se perderá inevitablemente [10].

Existen dos tipos de sistemas con membranas: Con alta presión de fase gas a ambos lados y con baja presión de adsorbente líquido a un lado.

Tecnologías biológicas

Todo proceso biológico utilizado para el control o tratamiento de compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos presentes en corrientes gaseosas, se le conoce con el nombre de biofiltración [8].

En función de la forma de operar, se pueden encontrar tres tipos de tratamientos biológicos:

- Biolavadores (bioscrubber),
- Biofiltros de escurrimiento (biotricklingfilter) y;
- Biofiltros propiamente dichos.

La diferencia entre ellos se basa según la presencia o no de un soporte, la fase móvil y el estado de la biomasa activa, como se puede observar en la **Tabla 6**.

Tabla 6:
Tipos de reactores biológicos para la eliminación de gases contaminante

REACTOR	FASE MÓVIL	SOPORTE	BIOMASA ACTIVA
Biolavador (BL)	Líquida y gaseosa	Ninguno	Dispersa
Biofiltro de escurrimiento (BTF)	Líquida y gaseosa	Sintético	Inmovilizada
Biofiltro (BF)	Gaseosa	Orgánico/Sintético	Inmovilizada

Fuente: [8]

Los sistemas biológicos de tratamiento de aire son considerados como tecnologías limpias o verdes y presentan una serie de ventajas comunes, entre las que destacan:

- Su capacidad para degradar los contaminantes a otros productos inocuos o menos contaminantes a una temperatura y presión ambientales.
- Costes de inversión moderados.

- Costes de operación relativamente bajos, teniendo en cuenta el elevado volumen de gases que se pueden tratar con bajas concentraciones de los compuestos contaminantes.
- Se obtienen altos rendimientos de degradación en el tratamiento de un elevado número de compuestos contaminantes atmosféricos, pudiéndose tratar de forma efectiva mezclas de compuestos orgánicos e inorgánicos.
- Procesos aceptados por la opinión pública como "naturales" y tienen un bajo requerimiento energético en el equipamiento.

En cuanto a las desventajas, cada configuración tiene las propias, pero las comunes son:

- Necesidad de una etapa de acondicionamiento de la corriente de entrada.
- Ciertos compuestos de etapas previas de depuración o del proceso productivo pueden ser tóxicos y/o letales para los microorganismos.
- Elevada sensibilidad de éstos a los cambios de temperatura, humedad y PH.

a) Biolavadores (Bioscrubbers)

Se trata de un sistema con dos etapas, en la primera el contaminante se absorbe en agua con una torre de aspersion o una columna de absorción, y en la segunda se trata la corriente líquida en un reactor de lodos activos (**Figura 7**).

Estos sistemas son adecuados cuando el contaminante es altamente soluble en agua, dada la necesidad de la transferencia del contaminante de la fase gas a la líquida [8]

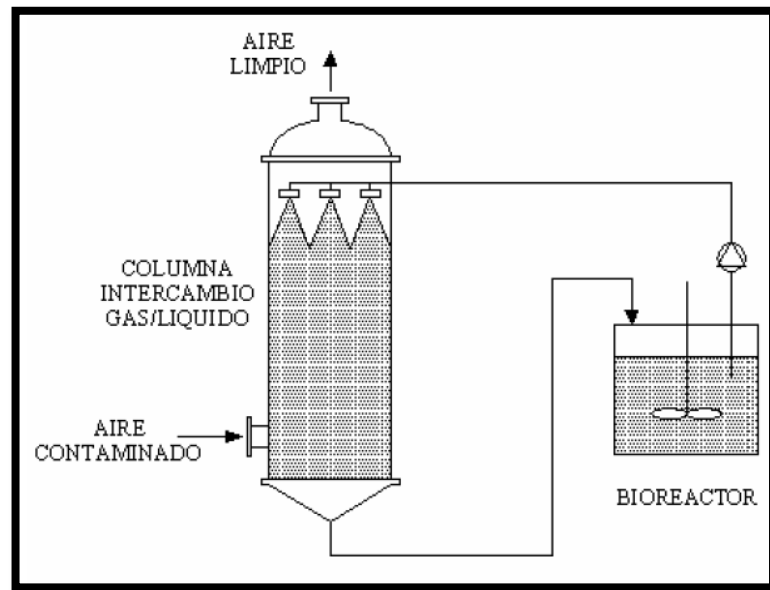


Figura 7: Biolavador

Fuente: [8]

Una ventaja de los biolavadores, con respecto a otros sistemas, es que la fase móvil acuosa permite un buen control de temperatura, PH y adición de nutrientes en el proceso, así como una fácil eliminación de los productos de reacción y la consecuente eliminación de posibles efectos inhibitorios.

b) Biofiltros

Consiste en un filtro biológico relleno de un soporte orgánico de turba, compost o tierra, cuya función es fijar la biomasa y servir como fuente de nutrientes como se muestra en la **Figura 8**, [8] a veces también se añaden materiales sintéticos para disminuir la pérdida de carga y como soporte de material orgánico.

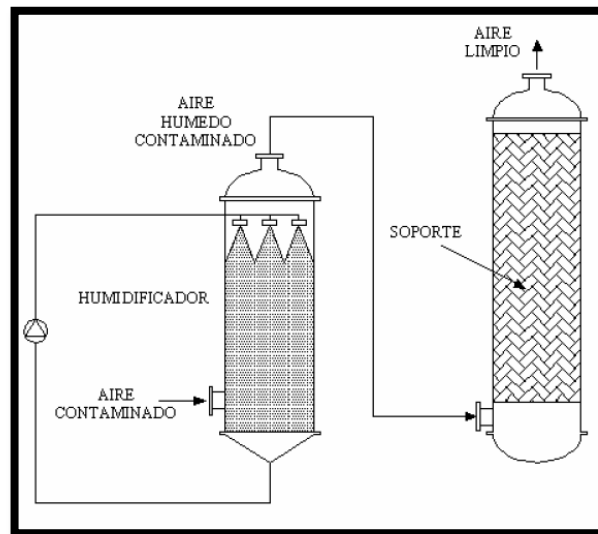


Figura 8: Biofiltro

Fuente: [8]

La corriente gaseosa previa humidificación se alimenta a través del lecho y los contaminantes son absorbidos en la película líquida que se forma, siendo degradados por la biomasa.

La principal característica de los biofiltros es la ausencia de una fase móvil, por lo que son adecuados para tratar contaminantes de baja solubilidad en agua.

c) Biofiltros de escurrimiento (Biotrickling filter)

Consiste en un filtro biológico empaquetado con un soporte sintético en el cual se forma una biopelícula ver **Figura 9**. A través del lecho se alimenta la corriente gaseosa con el contaminante a eliminar y, por su parte superior, se añade una corriente líquida, que es recirculada para aportar los nutrientes esenciales a la biopelícula, mantener las condiciones de humedad, PH, además de eliminar los productos de degradación. [8]

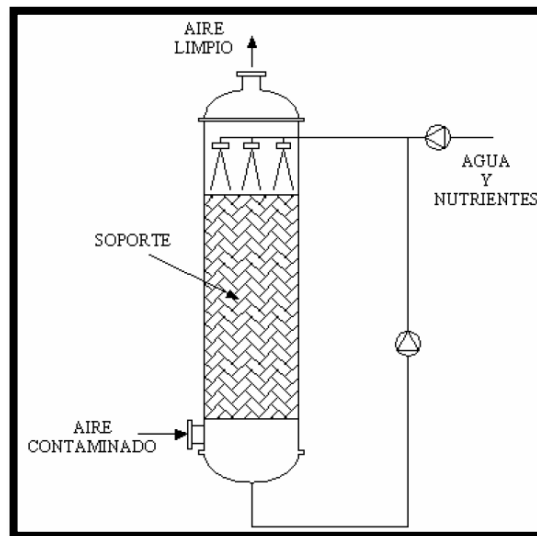


Figura 9: Biofiltro de escurrimiento

Fuente: [8]

A medida que el gas atraviesa el lecho poroso, los contaminantes son degradados por la biomasa activa que los utiliza como fuente de nutrientes y/o energía. En este caso, la absorción y degradación de los contaminantes ocurre en el mismo equipo frente a lo que ocurre en los biolavadores.

Los materiales usados comúnmente como soportes son polímeros, cerámicas, zeolita, carbón activo, espuma de poliuretano o mezcla de varios materiales.

1.7. Válvula de seguridad o trampa de condensados

La trampa de condensados o válvula de seguridad sirve para separar nieblas de condensado o acumulación de agua de condensación dentro del sistema de gas.

Este vapor de agua se condensa y puede formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) en presencia del H_2S . Por esta razón es importante que como parte del tren de calibración se instale un tanque para la reducción de condensados (**Figura 10**).



Figura 10: Válvula de seguridad o trampa de condensado

Fuente: [11]

a) Ventajas

- Diseño de mantenimiento sencillo
- Baja pérdida de presión
- Fácil acceso a través de tapón de rosca
- Eliminación del agua de condensación por Syphon
- Todo acero inoxidable

1.8. Tren de calibración de biogás

Para el aprovechamiento del biogás en generadores o calderas se debe instalar un tren de calibración del biogás para el control de presión, caudales y la calidad del biogás.

El biogás que se aprovecha en generadores tiene que cumplir ciertas condiciones técnicas relativas al volumen, contenido y calidad del CH_4 ;

presión de servicio, seguridad y control. Si estos parámetros no se cumplen los generadores no funcionarían óptimamente o simplemente dejarían de funcionar. [12]

Previo al aprovechamiento de biogás en generadores hay que instalar un tren de calibración de biogás (**Figura 11**), medir la concentración de CH_4 , calibrar la presión de servicio, controlar el apagado del generador, cierre automático del paso del biogás, corta llamas, etc. [1].

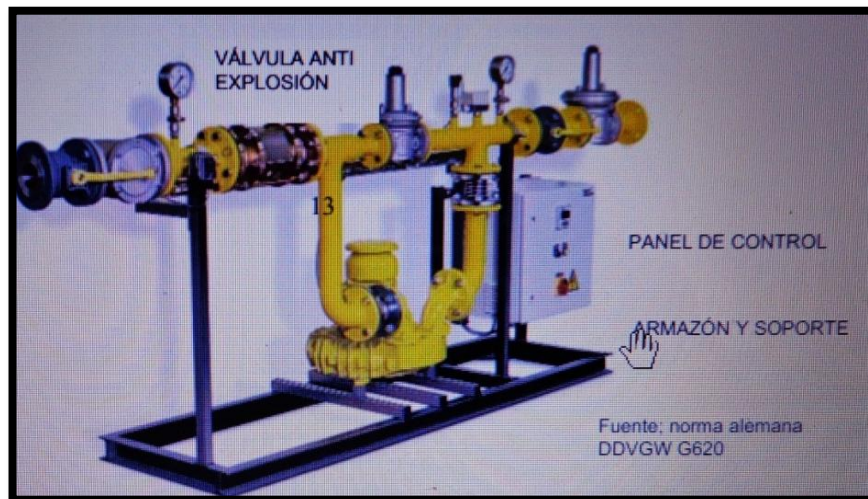


Figura 11: Tren de calibración de acuerdo a la norma

Fuente: [1]

1.9. Sopladores de canal lateral

El soplante o extractor tipo 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.

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 lineal a lo largo del canal un ejemplo de soplador lateral se puede apreciar en la (**Figura 12**). [13].



Figura 12: Sopladores de canal lateral

Fuente: [14]

a) Ventajas

Entre las principales ventajas que ofrecen las máquinas de canal lateral son las siguientes:

- Facilidad de instalación.
- Bajo nivel sonoro.
- Ausencia de vibraciones y, por lo tanto, estabilidad dinámica total.
- Descarga exenta de pulsaciones.
- Mantenimiento mínimo.

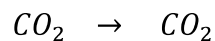
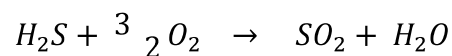
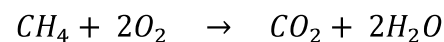
b) Aplicación.

Las aplicaciones más relevantes son:

- Aspiración de biogás en vertederos controlados y del envío a antorcha, al horno o a motores de gas.
- Recuperación del gas de depósitos, plantas o suelos contaminados y envío a la antorcha o al horno.
- Extracción del biogás del gasómetro, gas natural de tuberías o de gasómetro y envío al hornillo o a motores de gas.

1.10. Principio de combustión

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en varios equipos y artefactos descomponiéndose principalmente en CO_2 y H_2O . La combustión completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro, puede ser representada por las ecuaciones químicas como se muestra [1]:



El requerimiento potencial para que el biogás se queme totalmente es de 5,7 m^3 de aire por m^3 de biogás

El requerimiento de aire mínimo sería del 21 % pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire – biogás puede ser ajustada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas siendo esta de 2 a 3 veces mayor a la utilizada por combustibles en base a metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior.

La presión para un correcto uso del biogás en equipos de combustión oscila entre los 20 y los 100 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro. Se debe analizar requerimientos de sopladores.

1.11. Tuberías

Las presiones de operación en la mayoría de digestores no exceden el valor de 1 psi, es decir 0.7 mca (metros de columna de agua), o en su defecto presiones menores a este valor, lo cual se considera presiones relativamente bajas en digestores.

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 no localizadas.

1.11.1. Materiales de la tuberías

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 7**.

Tabla 7:

Ventajas y desventajas de materiales de tuberías para el transporte de biogás

MATERIAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Plástico (PVC, CPVC)	Fácil de trabajar, relativamente barato	Fácil de quebrarse o fracturarse, pueden ser mordidos por roedores. Válvulas más caras que las de galvanizado. Está sujeta a la degradación causada por los rayos ultravioleta.

CONTINÚA 

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: [15]

CAPÍTULO II

2. Sistema de conducción de biogás.

2.1. Generalidades

Como se señaló en el capítulo anterior, con el presente proyecto se pretende reducir el pago excesivo por consumo de energía eléctrica que tiene la Hacienda San Francisco, mediante un sistema de conducción de biogás para generar energía eléctrica, para de esta manera lograr una reducción de inversión económica en el consumo de energía eléctrica.

Partiendo del digestor que posee La Hacienda San Francisco, el generador existente y tomando en cuenta en cuenta los recursos económicos disponibles, se determinó las principales características que debe poseer el sistema de conducción de biogás, como:

- Localización del digestor.
- Producción de biogás del digestor.
- Capacidad de producción de biogás del digestor.
- Las características del biogás producido.
- Las condiciones necesarias del biogás para el ingreso al generador.

En base a estas características generales del sistema de conducción de biogás, a continuación se seleccionaran los componentes principales del mismo.

2.2. Parámetros de selección.

2.2.1. Localización del digestor

La hacienda San Francisco se localiza al Nor-Oeste del Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi, en la Parroquia Rural de Mulaló. Para llegar a la parroquia se toma la vía panamericana Latacunga - Quito de Sur a Norte hasta el kilómetro 10 a unos 20 minutos de la ciudad, y se encuentra a una altura de 2.200 m.s.n.m., la empresa se dedica principalmente a la producción de leche [16], en la **Figura 13** se puede observar la ubicación de la Hacienda San Francisco (**ANEXO A**).

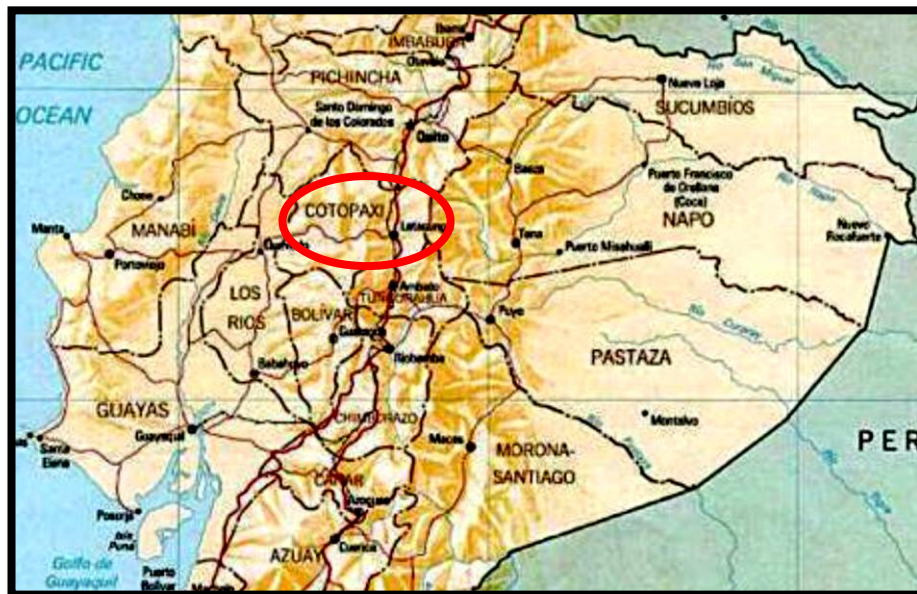


Figura 13: Provincia de Cotopaxi

Fuente: [16]

2.2.2. Producción de biogás del digestor

Para la producción actual de biogás en la Hacienda San Francisco se recopiló información mediante una tabla de control de producción de biogás 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 m³/h, como se puede observar en la **Tabla 8**.

Tabla 8:

Control de producción de biogás en la Hacienda San Francisco

Medidor de gas (Valor Registrado)	Observación (días)	Producción (m ³)	Producción diaria (m ³ /día)	Producción hora (m ³ /h)
361251,70	1	582,99	582,99	24,29
361834,69	3	1523,73	507,91	21,16
363 358,42	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

2.2.3. Capacidad de producción de biogás del digestor.

El biodigestor construido como se observa en la **Figura 14** consta de los siguientes componentes:

- Tanque de mezcla.
- Fermentador de 1300 m³.
- Tanque de descarga.
- Lecho de secado de lodos,

La estimación de la capacidad de producción total de biogás en la hacienda San Francisco es 50 m³/h.



Figura 14: Digestor Hacienda San Francisco

2.2.4. Características del biogás

Para obtener las características del biogás producido en el biodigestor existente en la Hacienda San Francisco se realizó dos cromatografías en el laboratorio de la Universidad Politécnica Nacional donde se obtuvo las características como se muestran en la **Tabla 9** y en el **ANEXO B1** y **B2**.

Tabla 9:

Características del biogás por cromatografía

COMPONENTE	CROMATOGRAFÍA 1		CROMATOGRAFÍA 2	
	% PESO	% MOLES	% PESO	% MOLES
NITRÓGENO	6,97	7,04	9,22	8,82
METANO	27,85	49,19	32,10	53,72
CO₂	63,03	40,47	56,71	34,51
H₂S	0,10	0,08	Ver anexo	
AGUA	2,05	3,22	1,98	2,94

CONTINÚA 

DENSIDAD RELATIVA	0,98	0,93
PESO MOLECULAR PROM. (g/gmol)	28,26	26,78
PODER CALORÍFICO DEL GAS BTU/ft³	498,40	544,08

2.3. Dimensionamiento del generador a biogás

Debido a que se trata de un combustible de alto poder calorífico los generadores a biogás que se utilizan para la producción de electricidad se deben basar en motores especiales, robustos y construidos expresamente para que funcionen con biogás, en la **Figura 15** se puede observar el generador a biogás.



Figura 15: Generador a biogás

Fuente: [17]

2.3.1. Parámetros generales para generadores a biogás

En la **Tabla 10** se muestran los parámetros generales de funcionamiento para un generador a biogás [1].

Tabla 10:

Parámetros generales del generador a biogás.

Presión	1 – 5,5 kPa (0,055 Bar)
H ₂ S	≤ 200 mg/Nm ³
NH ₃	≤20 mg/Nm ³
Agua	≤40 g/Nm ³
Impurezas	≤30mg/Nm ³ ; ≤ 5μm

Fuente: [17]

2.3.2. Dimensionamiento del generador en base al porcentaje de metano

Para el dimensionamiento del generador se toma en cuenta que el biogás ideal puede producir 2,2 kWh_{elect} [17], comprendiendo ideal el que tiene un contenido del 60 – 70 % de metano [1] y partiendo del porcentaje promedio de metano obtenido en las cromatografías 51,45 %.

Entonces se tiene que con 1 m³ de biogás con el 51,45 % de metano equivale a 1,74 kWh/m³.

Con la producción de biogás de 23 m³/h y tomando en cuenta que se requiere por cada metro cubico de biogás antes de la purificación se necesita dos metros cúbicos, ya que se tiene pérdidas en la purificación [18], por lo que el volumen de biogás es 10,5 m³ donde se tiene:

$$1,74 \text{ kWh} * 10,5 = 18,27 \text{ kWh}$$

Con la producción de biogás de 50 m³/h se tiene:

$$1,74 \text{ kWh} * 25 = 43,5 \text{ kWh}$$

2.3.3. Dimensionamiento del generador en base al poder calorífico.

Se dimensiona el generador en base al promedio del poder calorífico obtenido en las cromatografías. El poder calorífico promedio del biogás producido en la Hacienda San Francisco es 521,24 BTU/Ft³.

Teniendo en cuenta que: 1BTU es 1,055056 kJ y 1kWh es 3600 kJ, por lo que se tendrá:

$$521,24 \frac{BTU}{ft^3} * \frac{1,055056 \text{ kJ}}{1 \text{ BTU}} * \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}} * \frac{1 \text{ ft}^3}{0,3048^3 m^3} = 5,39 \frac{kWh_t}{m^3}$$

Con la producción de biogás de 23 m³/h se tiene:

$$5,39 \frac{kWh_t}{m^3} * 10,5 \frac{m^3}{h} = 56,6 \frac{kWh_t}{h}$$

$$56,6 \frac{kWh_t}{h} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 1.358,28 \frac{kWh_t}{día}$$

Considerando una eficiencia de 30%, considerada por el generador de Aqualimpia, la potencia del generador es:

$$1.358,28 \frac{kWh_t}{día} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * 0,30 = 16,98 \text{ kW}$$

Considerando la producción de biogás de 50 m³/h se tiene:

$$5,39 \frac{kWh_t}{m^3} * 25 \frac{m^3}{h} = 134,75 \frac{kWh_t}{h}$$

$$134,75 \frac{kWh_t}{h} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 3.234 \frac{kWh_t}{día}$$

Considerando la eficiencia del 30%, considerada por el generador de Aqualimpia, la potencia del generador es:

$$3.234 \frac{kWh_t}{día} * \frac{1 día}{24 h} * 0,30 = 40,43kWh$$

Tabla 11:

Potencia del generador

Método	Producción	Producción
	Actual	Máxima
Porcentaje de metano	18,27 kW	43,5 kW
Poder calorífico	16,98 kW	40,43 kW

En la **Tabla 2.4**, se puede observar que a través de los dos métodos se obtienen valores similares de potencia, por lo que el generador apropiado para la producción actual deberá ser mínimo de 16,98 KW y máximo de 18,27 KW.

Se selecciona entonces, el generador de la marca Aqualimpia, modelo **AQL 16** que tiene una potencia de 15 kVA o 12 kW, que es el más próximo al cálculo así como disponible en el mercado. Como se puede observar en la **Figura 16** y en el **ANEXO C** se detallan más especificaciones.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERADORES DE 10 – 33 kW							
	Standby(kVA)	10	16	25	25	30	33
	Model	AQL10	AQL16	AQL25	AQL25	AQL30	AQL33
standby power	kVA/kW	10/8.0	16/13.0	25/20	25/20	30/24	33/26
prime power	kVA/kW	9/7.0	15/12.0	22/18	22/18	28/22	30/24
frequency	Hz	60	60	60	60	60	60
rated voltage	V	480	480	480	480	480	480
brand							
Model motor	—	M-F10A	M-4Y	M-Isuzu 4JB1	M-4Y	M-Isuzu 4JB1T	M-4Y
displacement	L	1,051	2,237	2,771	2,237	2,771	2,237
speed	RPM	3.600	1.800	1.800	3600	1.800	3.600
starting method	—	electric start	electric start	electric start	electric start	electric start	electric start
cooling method	—	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled	water cooled
brand alternator	—	Stamford	Leroy Somer	Leroy Somer	Stamford	Leroy Somer	Stamford
model	—	PI 042 D	LSA 40 VS2	LSA 40 M5	PI 042 G	LSA 42.3 VS1	PI 144 E
phase	—	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires	3 phases, 4 wires
controller type	—	DS DSE7320	DS DSE7320	DP DSE7320	DS DSE7320	DS DSE7320	DS DSE7320
display	—	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
fuel	—	biogas	biogas	biogas	biogas	biogas	biogás
gas inlet pressure	kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa	1-5.5kPa
dimension (open type)	mm*mm*mm	—	1400*710*920	1,500*900*980	1400*710*920	1,500*900*980	1400*710*920
net weight (open type)	kg	—	480	600	480	600	480
biogas consumption	m ³ /kW.h	0,65	0,65	0,64	0,64	0,62	0,60

Figura 16: Especificaciones técnicas de generadores.

Fuente: [17]

Según datos recopilados la demanda de energía de la Hacienda San Francisco es de 20.800 kWh/mes [19].

Con el generador dimensionado se tendrá una energía de:

$$12 \text{ kW} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} * 0,9 = 94.608 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 7.884 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Con la demanda de energía de la hacienda San Francisco y la generada por el generador se puede decir que se tendrá un déficit de energía de 12.916 kWh/mes que deberían ser tomados de la red eléctrica convencional.

En el caso que el biodigestor trabajara al 100% de su capacidad (50m³/ h), se requerirá de un generador de la marca Aqualimpia, modelo **AQL 50** que tiene una potencia de 45 KVA o 36 KW y se tendrá un sobrante de energía de 2.852 kWh/mes que serán entregados a red de la Empresa Eléctrica Cotopaxi (ELEPCO S.A.).

2.4. Selección de la válvula de seguridad

La válvula de seguridad controla la presión de operación del biodigestor, debido a que presiones excesivas pueden ocasionar la explosión del digestor, roturas o zafaduras de la cubierta de membrana, esta válvula se selecciona considerando la capacidad de la planta.

Los biodigestores con membrana flexibles trabajan con presiones muy bajas en el orden de 2 a 4 mbar [1]



Figura 17: Válvula de seguridad y anti explosión.

Fuente: [11]

2.4.1. Parámetros de selección

El único parámetro que se debe tomar en cuenta es la presión del digestor la misma que es de 1 mBar, por tanto se seleccionará una válvula de seguridad de 2 mBar modelo **COOP 200** ya que es la existente en el mercado, esto impide que exista una presión mayor a 2 mBar, asegurando una presión estable en el digestor, como se indica en la **Tabla 12**, [11], para más especificaciones revisar **ANEXO D**.

Tabla 12:

Especificaciones técnicas de la válvula de seguridad-trampa de condensados

Kondensatopf COP Technische Daten

Modell	Durchsatz in Nm ³ /h	Durchmesser in mm	Höhe in mm	Anschlüsse DN
COP 200	max. 200	300	1.200	80
COP 300	200 – 400	480	1.400	125
COP 500	400 – 750	640	1.600	200
COP 1000	750 – 1.200	955	1.800	250

Fuente: [11]

2.5. Diseño del filtro de H₂S opción 1.

El filtro de H₂S sirve para eliminar las sustancias de ácido sulfhídrico que se encuentran en el biogás y problemas de oxidación a los componentes del sistema de conducción de biogás [1]. Ver **Figura 18**.



Figura 18: Filtros de H₂S

Fuente: [20]

2.5.1. Parámetros de diseño opción 1

Para el diseño del filtro se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Tipo de tecnología a emplear.
- b) Bacterias que se utilizarán para la desulfuración.
- c) Medio en el que se desarrollarán las bacterias.
- d) Temperatura a la que se deben encontrar las bacterias.
- e) Tiempo de residencia.
- f) Soporte.

a) **Tipo de tecnología a emplear**

El tipo de tecnología que se empleará en este sistema es la tecnología biológica mediante un biofiltro de escurrimiento y la utilización de bacterias desulfurizantes, el costo de esta tecnología están al alcance así como la disponibilidad en el mercado, en la **Figura 19** se muestra el esquema de diseño de un Biofiltro de escurrimiento.

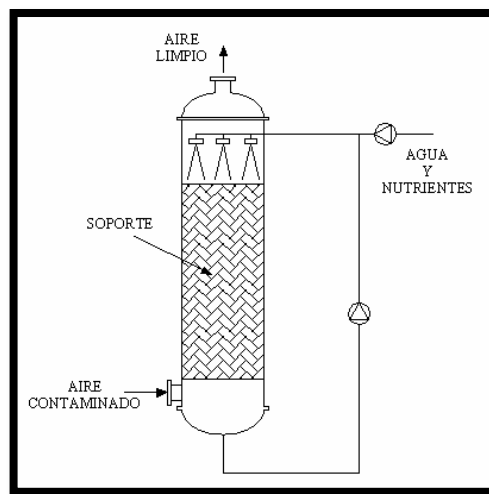


Figura 19: Biofiltro de escurrimiento.

Fuente: [8]

En la **Tabla 13** se muestran los tipos de biofiltros y soportes utilizados para la eliminación de ácido sulfhídrico.

Tabla 13:

Tipos de microorganismos y soportes utilizados en biofiltración

REFERENCIA	TIPO	SOPORTES	INÓCULO	COMPUESTOS
(Nishimura and Yoda 1997)	BL	-	Lodo Activo	H ₂ S
(Chung et al. 1998)	BF	Alginato de calcio	Tb novellus CH ₃	H ₂ S
(Wani et al. 1998)	BF	Compost/perlit a/astillas de madera	Lodo activo	H ₂ S
(Chitwood et al. 1999)	BTF BF	Roca volcánica Astillas de madera	Lodo activo	H ₂ S VOC
(shojaosadati and Elyasi 1999)	BF	Compost	Lodo activo	H ₂ S
(wani et al. 1999)	BF	Compost/perlit a/astilla de madera	Lodo activo	H ₂ S /DMDS DMS
(Cho et. al. 2000)	BF	Roca volcánica	Tb. Thiooxidans AZ11	H ₂ S
(Devinny and Chitwood 2000)	BTF BF	Roca volcánica Astillas de madera	Lodo activo	H ₂ S VOC
(Elias et. Al. 2000)	BF	Compost		H ₂ S
(Koe and Yang 2000)	BTF	Anillos de propileno	Thiobacillus ssp.	H ₂ S
(Shinabe et al. 2000)	BTF	Cerámica	Lodo activo	H ₂ S /MM
(Hartikainen et al. 2001)	BF	Turba	Thiobacillus strain Tj 330	H ₂ S / CS ₂
(Hirai et al. 2001a)	BF	Cerámica Cristobalita calcinada Obsidia calcinada Suelo calcinado	Lodoactivo (Thiobasillus ssp; Hypbomicrobium sp y hongos)	H ₂ S

CONTINÚA 

(Ruokojarvi et al. 2001)	BTF	Cerámica porosa	Lodo activo	H ₂ S /MM/DMS
(Wu et al. 2001)	BTF	Anillos de propileno	At. Thiooxidans	H ₂ S
(Pinjing et al. 2001)	BF	Alginato de calcio	Lodo activo	H ₂ S /MM
(Cox and Deshusses 2002)	BTF	Anillos de propileno	Tb. Thioparus TK-m	H ₂ S /Tolueno
(Elias et al. 2002)	BF	Compost	CONTINUA	H ₂ S
(Gabriel and Deshusses 2003)	BTF	Espuma de poliuretano	Lodo activo	H ₂ S
(Li et al. 2003)	BF	Compost astillas madera	Lodo activo	H ₂ S /MM DMS/DMDS
(Oyarzun et al. 2003)	BF	Turba	Tb. Thioparus ATCC 23645	H ₂ S
(Ng et al. 2004)	BF	Carbón activo	Lodo activo (Thiomona ssp.)	H ₂ S
(Gabriel et al. 2004)	BTF	Plástico TripackJeger Espuma de poliuretano	Lodo activo	H ₂ S
(Lee et al. 2005)	BTF	Cerámica	At. Thioxidans ATS	H ₂ S /NH ₃
(Jin et al. 2005a)	BTF	Anillos de propileno	Lodo activo	H ₂ S
(Jin et al. 2005b)	BTF	Anillos de propileno	Lodo activo	H ₂ S

BTF: Biofiltro de escurrimiento; BL: Biolavador; BF: Biofiltro; HBTF: Biofiltro de escurrimiento horizontal

Fuente: [8]

b) Bacterias utilizadas para eliminación de H₂S mediante biofiltración

Para la biofiltración se utilizará sulfobacterias las cuales son encargadas de transformar el H₂S a azufre elemental.

c) Medio en el que se desarrollan las bacterias

En la **Tabla 13** se muestran los medios donde se desarrollan las bacterias, el lodo activo es el medio fácil de encontrar e ideal para el desarrollo de las sulfobacterias.

d) Temperatura a la que se encuentran las bacterias desulfurizantes.

La temperatura óptima para un buen desarrollo de las bacterias se encuentra entre 30 y 40°C, para el diseño se seleccionara el promedio de 35°C. [21]

e) Tiempo de residencia.

En la **Tabla 14** se indican los tiempos de residencia los mismos que se encuentran entre 1,5 y 6,5 segundos, para el diseño se selecciona 6,5 segundos.

Tabla 14:

Datos de eliminación de H₂S en biofiltros de escurrimiento.

Compuestos	Relleno	Inóculo	EBRT	H ₂ S	R (H ₂ S)	EC (H ₂ S)
			S	ppmv (30 °C)	%	gS m ⁻³ h ⁻¹
H ₂ S/MM	Anillos de propileno	Tb. Thioparus TK-m	2,6 (2,6-15,5)	39 (7-66)	95	22,0
DMS/NH₃						
H ₂ S	Roca Volcánica	Lodo activo	15-30	71 (45-390)	99	21,7

CONTINÚA 

	Plástico BIODek 7		45	92	9,6	
	Plástico Jaeger Nupac 7		54	94	11,8	
H₂S	Alginato de calcio	Thiobacillussp . CH11	56-70	60	99,5	4,0
H₂S/VOC	Roca Volcánica (BTF)	Lodo activo	32,6	1,6 (0,01-30)+	93,8	0,2
	Astillas de madera (BF)		22,2	3	98,4	0,4
			12,1	12,1	91	1,5
H₂S	Anillos de propileno	Thiobacillussp .	29,5	5+	99	4,6
			5	92	99	84,7
H₂S/MM	Cerámica	Lodo activo	16 (10-16)	338	98,5	152,0
H₂S/MM/DMS	Cerámica porosa	Lodo activo	(61-132)	-	99,8	42,0
H₂S	Anillos de propileno	At. Thiooxidans	5_30	150+	68	94,6
				20	90	16,7
H₂S/Tohueno	Anillos de propileno	Tb. Thioparus TK-m	36	170+	91,3	20,0
H₂S	Espuma de poliuretano	Lodo activo	(1,5-6,5)	31 (0,1-100)+	97	89,4
				34	80	98,8
H₂S	Plástico TripackJaeger	Lodo activo	2,29	6	17	2,0
	Espuma de poliuretano		1,15	16	65	40,4
H₂S/NH₃	Cerámica	At. Thiooxidans ATS	36 (5,63-36)	900(50-900)+	100	810,0
H₂S	Anillos propileno	Lodo activo	30,9 (26,5-37,1)	55+	99	8,2
				170	88,6	22,6
H₂S	Anillos de propileno	Lodo activo	24,24	158+	97	29,3
H₂S/DMS	Anillos de propileno	At. Thiooxidans ATCC19377	120 (30-120)	2000	97	78,1
		Hyphomicrobium VS				

Fuente: [8]

f) Soporte

Según la **Tabla 13** el soporte que se escogió es la espuma de poliuretano, es un soporte con grandes ventajas, tiene una elevada superficie específica y alta porosidad, lo que proporciona una baja pérdida de carga y buenas propiedades mecánicas [8].

2.5.2. Dimensionamiento del biofiltro.

Con los parámetros de diseño de la **Tabla 15** se dimensionará el biofiltro.

Tabla 15:

Parámetros de diseño

Tecnología de filtración	Biofiltración
Tipo de biofiltro	Biofiltro de escurrimiento
Tipo de bacterias	Thiobacillus
Medio	Lodo activo con espuma de poliuretano
Temperatura del medio de las bacterias	35°C
Tiempo de residencia	6,5 segundos
Porcentaje de H ₂ S que necesita el generador	< 200 ppm
Generación de biogás actual	23 m ³ /h
Generación de biogás máxima	50 m ³ /h
Porcentaje de H ₂ S en el biogás	0,08 % (800ppm)
Diámetro del tanque	0,3 m

2.5.3. Dimensionamiento del biofiltro con la producción actual de biogás

La producción actual de biogás es de 23 m³/h entonces se tiene que:

$$23 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 seg} = 0,0064 \frac{m^3}{seg}$$

Con el caudal de $0,0064 \text{ m}^3$ es lo que va a pasar en 1 segundo, y con el tiempo de residencia de 6,5 segundos se calcula el volumen del biofiltro con la **Ec. 1**. [22]

$$EBRT = \frac{V_f}{Q}$$

Ec. 1

Dónde:

EBRT = Tiempo de residencia (s)

V_f = Volumen del biofiltro (m^3)

Q = Caudal del biogás a tratar

Entonces se tiene:

$$V_f = 0,0064 \frac{m^3}{s} * 6,5 s$$

$$V_f = 0,042 m^3$$

El volumen del biofiltro es $0,042 \text{ m}^3$, entonces las dimensiones son:

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

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{0,042 m^3}{\pi * (0,125 m)^2}$$

$$h = 0,85 m$$

Entonces se necesita un biofiltro de 25 cm de diámetro y una altura de 85 cm, entregándonos de 0,1 a 100 ppm es decir un porcentaje de 97 % de H_2S [8], en este caso tendremos 24 ppm.

2.5.4. Dimensionamiento del biofiltro con la producción máxima de biogás.

La producción máxima de biogás es de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ entonces se tiene que:

$$50 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} = 0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Con el caudal de $0,014 \text{ m}^3$ es lo que va a pasar en 1 segundo, y con el tiempo de residencia de 6,5 segundos se calcula el volumen del biofiltro con la **Ec. 1.** [22]

Entonces se tiene:

$$V_f = 0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 6,5 \text{ s}$$

$$V_f = 0,090 \text{ m}^3$$

El volumen del biofiltro es $0,090 \text{ m}^3$, entonces las dimensiones son:

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

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{0,090 \text{ m}^3}{\pi * (0,125 \text{ m})^2}$$

$$h = 1,83 \text{ m}$$

Por lo que se necesita un biofiltro de 25 cm de diámetro y una altura de 1 metro 83 cm, entregándonos de 0,1 a 100 ppm es decir un porcentaje de 97 % de H₂S [8], en este caso tendremos 24 ppm.

2.5.5. Sistema de calentamiento del biofiltro.

Para mantener una temperatura apta para la reproducción de bacterias y tener un mejor desempeño de las mismas al realizar la desulfurización, la temperatura adecuada para las bacterias es de 35°C es por esto que se realiza un intercambiador de calor como se indica en la **Figura 20**.

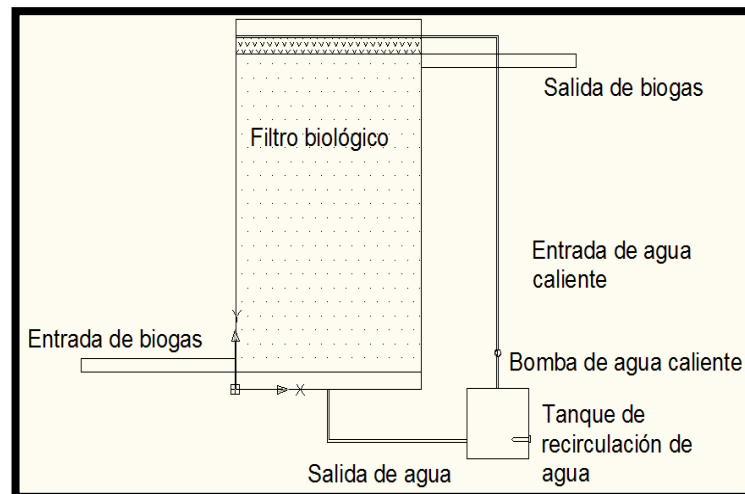


Figura 20: Sistema de calentamiento

Para el cálculo de la resistencia eléctrica empleada en el sistema de calentamiento se utilizara la **Ec. 2** [23] , tomando en cuenta los siguientes datos:

Masa a calentarse: 35 Kg de agua.

Calor específico del agua: $4,186 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$

Variación de temperatura: 5°C

Tiempo de calentamiento: 300 s

$$E = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

Ec. 2

$$E = 35 \text{ Kg} \times 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \times 5^\circ\text{C}$$

$$E = 732,55 \text{ KJ}$$

$$P = \frac{E}{t}$$

$$P = \frac{732,55 \text{ KJ}}{300 \text{ s}}$$

$$P = 2,5 \text{ KW}$$

2.5.6. Calculo del diámetro de la tubería de recirculación

Para calcular el diámetro de la tubería se toma en cuenta el caudal requerido para el biofiltro, teniendo los siguientes datos:

Volumen del biofiltro= 0,035 m³

Tiempo de recirculación = 300 s

Por lo tanto se tiene con la **Ec. 3** que el caudal es:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ec. 3

$$Q = \frac{0,035 \text{ m}^3}{300 \text{ s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$Q = 0,42 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para calcular diámetro de la tubería de succión y descarga se tiene:

$$\text{Caudal de recirculación } Q = 0,42 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Velocidad del liquido } v = 1 - 3 \frac{m^3}{s}$$

Remplazando en la **Ec. 3** se tiene:

$$Q = A * v$$

$$d = \frac{4 Q}{\pi v}$$

$$d = \frac{4 \cdot 0,4 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{\pi \cdot 1 \frac{m}{s}}$$

$$d = 0,012 m = 0,46 "$$

Por lo tanto se requiere de una tubería de ½" de PVC para la línea de descarga y ¾ " para la línea de succión.

Donde se tiene:

$$\text{Velocidad de succión} = \frac{Q}{A} = 0,4 \text{ m/s}$$

$$\text{Velocidad de descarga} = \frac{Q}{A} = 1 \text{ m/s}$$

2.5.7. Selección de la bomba de recirculación.

Para recircular el agua y mantener la humedad dentro del biofiltro se requiere de una bomba circuladora UPS Serie 100 la misma que está diseñada especialmente para sistemas de calefacción mono tubo como se observa en la **Figura 21**. [24]



Figura 21: Bomba circuladora UPS 100

Fuente: [24]

Para la selección de la bomba se toma en cuenta:

- Caudal para el biofiltro
- Carga total sobre la bomba

Para calcular la carga total sobre la bomba se utiliza la **Ec. 4**.

$$h_a = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + h_L + z_2 - z_1$$

Ec. 4

Dónde:

h_a = carga total sobre la bomba (m)

P = presión (kPa)

γ = peso específico del agua (kN/m³)

v = velocidad (m/s)

h_L = pérdidas por fricción en la tubería y accesorios (m)

z = carga de elevación (m)

Considerando la **Figura 20** se tiene:

P1 = 0 (expuesto a la atmosfera)

P2 = 6 kPa

γ = 9,75 kN/m³

v1 = 0 (superficie del tanque)

v2 = vdescarga= 1 m/s

z1 = 0

z2 = 1m

hL= perdidas línea de succión + perdidas línea de descarga

Para calcular **hL** se utiliza la **Ec. 5**:

$$h_L = \frac{v_s^2}{2g} k_e + k_C + k_{fs} + \frac{v_d^2}{2g} 3k_C + k_{fd}$$

Ec. 5

Dónde:

Ke = Coeficiente de resistencia = 1 (tubería proyectada hacia adentro)

Kc = coeficiente de resistencia en los codos a 90° = 0,8 (**ANEXO E-1**)

Kfs = Coeficiente de resistencia en la tubería de succión.

Kfd = Coeficiente de resistencia en la tubería de descarga.

Para calcular **Kfs** y **Kfd** se utiliza la **Ec. 6**

$$k_f = f \frac{L}{D}$$

Ec. 6

Dónde:

f = Factor de fricción.

L = Longitud total de la tubería (m)

D = diámetro de la tubería (m)

Para el cálculo del valor de **f** depende del Número de Reynolds (**N_R**) y la rugosidad relativa (**D/ε**) y del diagrama de Moody (**ANEXO E 3**).

Donde el **N_R** se calcula con la **Ec. 7**:

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$

Ec. 7

Dónde:

v = velocidad

D = diámetro de la tubería

ν = viscosidad cinemática del agua = $7,22 \times 10^{-7}$ (m/s) (**ANEXO E 2**)

Para la succión se tiene:

$$N_R = 7036$$

$$D/\epsilon = 42333$$

$$f = 0,036 \text{ (ANEXO E 3)}$$

$$k_{fs} = 0,28$$

Para la descarga se tiene:

$$NR = 26315$$

$$D/\epsilon = 63333$$

$$f = 0,025 \text{ (ANEXO E 3)}$$

$$k_{fd} = 1,97$$

Remplazando los datos en la **Ec. 5** se tiene:

$$h_L = 0,2414 \text{ m}$$

Por lo tanto la carga total es:

$$h_a = 2,36 \text{ m}$$

Con el caudal de $0,42 \text{ m}^3$ y la carga total de $2,36 \text{ m}$ se escogió el modelo **UPS 25 – 40**, como se indica en la **Tabla 16**. (**ANEXO F**).

Tabla 16:
Bombas de recirculación serie UPS 100

	Caudal Q																	
	m ³ /h →	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,0	3,2	3,3	4	5	6	7	8	9
Modelo	Altura en mca.																	
UPS 25-40	3,9	3,5	3,0	2,6	2,1	1,7	1,3	0,9	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UPS 25-50	4,7	4,3	3,8	3,3	2,8	2,2	1,8	1,3	1,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
UPS 25-60	5,7	5,2	4,7	4,1	3,5	3,0	2,4	1,8	1,6	1,3	1,2	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: [24]

Para calcular la potencia total de la bomba se emplea la **Ec. 8**:

$$P = \frac{h_a * \gamma * Q}{em}$$

Ec. 8

Considerando una eficiencia del 80 % se tiene:

$$P = 3,2 \text{ W}$$

A continuación se detallan los materiales utilizados para el diseño del sistema de calentamiento en la **Tabla 17**:

Tabla 17:

Materiales utilizados para el sistema de calentamiento.

Cantidad	Material	Descripción
1	Tanque de 30 x 30 x 50 centímetros.	Permite almacenar el agua la cual será calentada para transmitir el calor necesario al interior del filtro.
1	Resistencias de tanque de 2500 W a 220 V Modelo T009	Permite calentar el agua dentro del tanque para de esta manera intercambiar calor con las bacterias existentes en el interior del tanque.
1	Bomba de recirculación UPS 25-40-180 (220V)	Por el hecho de necesitar una bomba por la cual recircule el agua caliente se optó por esta opción siendo la de menor caudal existente en el mercado y costo moderado.
1	Termostato interior tapa plástica	Control propio de la resistencia que permite asegurar que el agua no se evapore en el tanque.
Varios	Accesorios de tubería PVC	Válvulas, acoples y accesorios necesarios para la circulación de agua caliente en el intercambiador

2.6. Diseño del filtro de H₂S opción 2**2.6.1. Dimensionamiento del filtro**

Para el diseño del filtro se debe tomar en cuenta los parámetros de la **Tabla 18:**

Tabla 18:**Parámetros de diseño**

Método de filtración	Absorción del H ₂ S a partir de óxido de hierro
Caudal de biogás requerido por el generador	1 m ³
Concentración de H ₂ S	800 ppm
Densidad del H ₂ S	1,19 kg/m ³
Límite de absorción del H ₂ S en Fe ₂ O ₃ [9]	56%
Diámetro del tanque	0,6 m

Con los parámetros de la **Tabla 18**, empezando por el peso del H₂S en el biogás que será:

$$1 \text{ m}^3 * 1,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1,19 \text{ kg}$$

Realizando una regla de tres con el porcentaje de absorción se tendrá:

$$\begin{array}{r} 1,19 \quad 56 \\ x \quad 100 \% \\ x = 2,13 \end{array}$$

Entonces, la cantidad de Fe₂O₃ teórico que se necesita es de 2,13. En la práctica se incrementa en 20% esta cantidad [9], quedando como:

$$2,13 * 1,2 = 2,98 \text{ kg de Fe}_2\text{O}_3$$

Cantidad diaria: por lo general, el filtro se construye para una operación de 360 días [9], por lo que la cantidad de viruta tratada que se debe tener para una operación de 360 días es de:

$$2,98 \text{ kg} * 360 = 1171,00 \text{ kg} = 1,17 \text{ tm} = 1,17 \text{ m}^3 \text{ de Fe}_2\text{O}_3$$

El volumen del filtro es $1,71 \text{ m}^3$, entonces las dimensiones son:

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

$$h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{1,71 \text{ m}^3}{\pi * 0,3 \text{ m}^2}$$

$$h = 4,24 \text{ m}$$

Entonces se necesita un filtro de absorción del H_2S en Fe_2O_3 de 0,60 m de diámetro y una altura de 4,24 m, así como también el porcentaje de H_2S que nos entrega el filtro es de 448 ppm.

2.7. Selección de sopladores para sistema de control de presión para el generador

Se utilizará un soplador del tipo canal lateral, estos son indicados para aplicaciones que exigen presiones considerablemente superiores a las que pueden conseguirse utilizando ventiladores centrífugos [11].

2.7.1. Parámetros de selección del soplador

Para seleccionar el soplador se debe considerar la presión y el caudal requerida por el generador para un buen funcionamiento del mismo.

La presión requerida en el generador es de 55 mbar, y el caudal de biogás $23 \text{ m}^3/\text{h}$.

Con la presión y el caudal del generador y empleando el diagrama caudal-presión como se indica en la **Figura 22** y **Figura 23 (ANEXO G)**

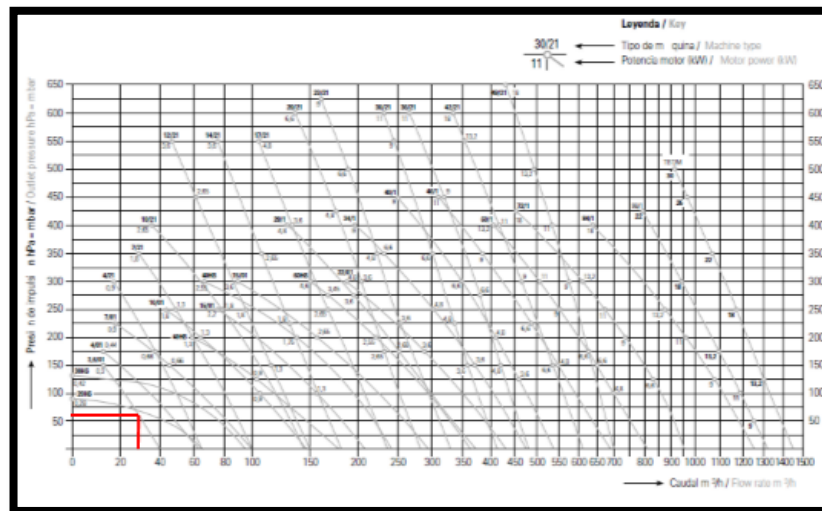


Figura 22: Soplates con motor a 60 Hz (3500 rpm)

Fuente: [11]

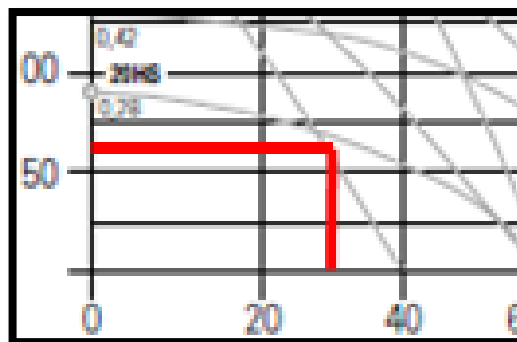


Figura 23: Diagrama de caudal-presión soplates con motor a 60 Hz (3500 rpm)

El soplador seleccionado es el modelo **CL 3,6/01** con una potencia del motor de **0,3 kW**. Se trata de un modelo ATEX para biogás a 60 Hz (3500 rpm).

Así como para un caudal de 50 m³/h será el modelo **CL 4 / 21** con una potencia del motor de 0,55 kW. Se trata de un modelo ATEX para biogás a 60 Hz (3500 rpm).

2.8. Diseño de la tubería de transporte de biogás

El gas producido en el biodigestor debe ser conducido a los lugares de uso a través de tuberías.

La tubería de presión de PVC resulta adecuada para esta finalidad, ya que presenta las siguientes ventajas:

- Resistente a la corrosión
- Facilidad de instalación
- Mejores precios

Su desventaja radica en la necesaria protección contra los rayos solares y el movimiento de animales y transporte pesado.

El diámetro de la tubería requerida depende de la distancia desde la planta hasta el lugar de consumo del gas, así como del flujo máximo de gas requerido y de la pérdida de presión admisible.

2.8.1. Selección de la tubería

Para la selección de la tubería se toma en cuenta los datos de la **Tabla 19**:

Tabla 19:

Diseño de la tubería

Datos	
P₁ (salida soplador)	6 kPa
P₂ (entrada generador)	5,5 kPa
Q	23 m ³ /h
T₁	20 °C
L	10 m
R	52,8 Nm/N°K
V	17,5 m/s

Se realizara los cálculos respectivos para el dimensionar el diámetro de la tubería para el transporte del biogás utilizando la **Ec. 9** [15]:

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ec. 9

Dónde:

$\frac{P}{\gamma}$ = Carga de presión

z = Carga de elevación

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad

h_L = Perdidas por fricción en la tubería

Se procede a calcular el peso específico con la **Ec. 10** [23]:

$$\gamma = \frac{P}{RT}$$

Ec. 10

Dónde:

γ = Peso específico del gas (N / m³)

P = Presión absoluta (Pa)

R = Constante del gas (Nm / N°K)

T = Temperatura (°K)

$$P = P_{atm} + P_{man}$$

$$P = 101,3 \text{ kPa} + 5,5 \text{ kPa}$$

$$P = 106,8 \text{ kPa}$$

$$T = T_1 + 273$$

$$T = 20 + 273$$

$$T = 293 \text{ } ^\circ K$$

$$\gamma = \frac{106,8 \times 10^3 \text{ Pa}}{52,8 \frac{Nm}{N^\circ K} \cdot 293 \text{ } ^\circ K}$$

$$\gamma = 6,9 \frac{N}{m^3}$$

Considerando que:

$$\Delta P \approx 0 \quad \gamma_1 \approx \gamma_2$$

$$Z_1 = Z_2 = 0$$

$$v_1 = v_2 \quad \text{Mismo } \emptyset \text{ de tubería}$$

Entonces reemplazando los datos de la **Tabla 16** en la **Ec. 9** se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} - h_L = \frac{P_2}{\gamma}$$

$$P_1 = P_2 + \gamma h_L$$

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$h_L = \frac{6 - 5,5 \text{ kPa}}{6,9 \frac{N}{m^3}}$$

$$h_L = 72,5 \text{ m}$$

Para el cálculo del diámetro de la tubería se toma en cuenta la **Ec. 11** [15]:

$$D = 0,66 \epsilon^{1,25} \frac{LQ^2}{g h_L}^{4,75} + vQ^{9,4} \frac{L}{g h_L}^{5,2}{}^{0,04}$$

Ec. 11

Dónde:

ϵ = Rugosidad del plástico = $3 \times 10^{-7} \text{ m}$ (**ANEXO E 4**)

L = Longitud de la tubería = 10 m

Q = Caudal = $0,0064 \text{ m}^3/\text{s}$

v = Velocidad del gas = $17,5 \text{ m/s}$

g = Gravedad = $9,81 \text{ m/s}^2$

h_L = Perdida debido a la fricción de la tubería = $72,5 \text{ m}$

Se tiene:

$$D = 0,045 \text{ m}$$

$$D = 1,77 \text{ ''}$$

Por lo que se seleccionará una tubería de PVC de 2", para la producción actual, para proyectos posteriores se seleccionará una tubería de PVC de 2 ½" para no tener complicaciones de diseño.

2.9. Diseño eléctrico.

Para el diseño eléctrico del sistema de conducción de biogás se toma en cuenta una serie de parámetros para obtener un excelente funcionamiento.

El sistema de conducción de biogás necesita de un motor eléctrico para el funcionamiento del soplador, una bomba de recirculación y una resistencia para el calentamiento del agua en el biofiltro, estos elementos constaran con sus debidas protecciones.

Además se requiere de la instalación de un tablero de control eléctrico, su función principal es la maniobra de encendido y apagado de los componentes antes mencionados instalados en el sistema. El tablero está compuesto por un diagrama de control y de fuerza.

2.9.1. Diagrama de control

El diagrama de control se representa los circuitos electromagnéticos y contactos auxiliares de los contactores así como todo aparato auxiliar que intervenga en la maniobra, como son temporizadores, captadores, pulsadores e interruptores. (**ANEXO H-1**).

2.9.2. Diagrama de fuerza.

En este diagrama se muestran todos los elementos y conductores por los que pasa la corriente que alimenta al circuito accionado por el circuito de maniobra tales elementos son: fusibles, seccionadores, relé térmico y contactor.

Para el diseño del diagrama de control y fuerza se tomarán en cuenta las siguientes características:

- Tipo de motor
- Tipo de arranque
- Voltaje de alimentación.

El diagrama de control y fuerza se observa en el **ANEXO H-2** de los planos eléctricos.

2.9.3. Características del motor eléctrico para el soplador.

El soplador está conformado de un motor trifásico de inducción con las siguientes características **Tabla 20**.

Tabla 20:**Características del motor (Soplador)**

Marca	ATEX
Potencia	0,42 kW
Voltaje	220 / 380 V
Intensidad de operación	2 A
Frecuencia	60 Hz
RPM	3500
Arranque	$\Delta - Y$

a) Selección del contactor

Para la selección del contactor se toma en cuenta las siguientes características:

- Categoría de servicio según su aplicación: AC-3
- Voltaje de red: 220/240 Vac
- Tipo de accionamiento: Electromecánico.

Se seleccionará un contactor disponible en el mercado de 1,1 Kw (1,5 HP), sus características se puede ver en la **Tabla 21**. Para más especificaciones revisar **ANEXO I 1**

Tabla 21:**Especificaciones del contactor**

Marca	Telemecanique
Tipo	LC1K0610M7
Voltaje de operación	220 VAC
Voltaje de bobina	220 VAC
Intensidad nominal	6 A
Potencia del contactor	1,5 HP
Frecuencia	60 Hz
Tipo de montaje	Riel dim

b) Selección del relé térmico

Para la selección del relé térmico del motor del soplador y evitar sobre corrientes por exceso de carga se estimara un 25% de la corriente nominal. Se seleccionará un relé térmico disponible en el mercado de 1,8 a 2,6 A, sus características se puede ver en la **Tabla 22**. Para más especificaciones revisar **ANEXO I 2**

Tabla 22:

Características del relé térmico

Marca	Telemecanique
Tipo	LR2K0308
Intensidad de regulación	1,8 a 2,6 A

c) Selección del conductor eléctrico del circuito de control

Según las especificaciones de conexión del contactor LC1K0610M7, se recomienda utilizar cables con una sección máxima de 2.5 mm², con esta información se selecciona un conductor # 18 AWG, para los elementos que conforman el circuito de control.

d) Selección del conductor eléctrico del motor

Para la selección del conductor adecuado para el motor eléctrico se toma en cuenta la corriente nominal, se calcula con la **Ec. 12**.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \eta * f_p}$$

Ec. 12

$$I = \frac{420 W}{\sqrt{3} * 220 V * 0,75 * 0,8}$$

$$I = 1,83 A$$

El valor de la corriente nominal es de 2 (A), se seleccionara un cable de 4 conductores # 14 AWG.

Para la verificación del calibre del conductor es el adecuado se procede a determinar la caída de tensión con la **Ec. 13**:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} ZLI}{V_{LL}} * 100$$

Ec. 13

Dónde:

ΔV = caída de tensión en el cable, en %

I = corriente eléctrica que circula a través del conductor, en A

L = longitud total del circuito, en km

V_{LL} = tensión entre fases, en V

Z = impedancia eléctrica del cable, en Ω / km (**ANEXO I 3**)

Remplazando en la **Ec. 13** se tiene:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 9,3 \frac{\Omega}{km} \cdot 0,01 km \cdot (2 A)}{220 V} * 100$$

$$\Delta V = 0,14 \%$$

Con el cálculo determinado, el conductor adecuado para el motor del soplador es el cable fuerza-control de 4 conductores # 14 AWG. En el **ANEXO I 3**, se puede observar las características del conductor seleccionado.

2.9.4. Características de la bomba eléctrica de recirculación

Para mantener la humedad en el biofiltro se requiere de una bomba de recirculación monofásica con las siguientes características **Tabla 23**.

Tabla 23:

Características de la bomba de recirculación

Marca	GRUNDFOS
Potencia	45 W
Voltaje	220 V
Intensidad de corriente	0,2 A
Frecuencia	60 Hz

a) Selección del contactor

Para la selección del contactor se toma en cuenta las siguientes características:

- Categoría de servicio según su aplicación: AC-3
- Voltaje de red: 220/240 VAC
- Tipo de accionamiento: Electromecánico.

Se seleccionará un minicontactor o relé auxiliar disponible en el mercado de 5 A, sus características se puede ver en la **Tabla 24**. Para más especificaciones revisar **ANEXO I 4**.

Tabla 24:

Especificaciones del relé auxiliar

Marca	CAMSCO
Tipo	MY2-02
Voltaje de operación	220 VAC
Voltaje de bobina	220 VAC

CONTINÚA 

Intensidad nominal	2 A
Potencia del contactor	48 W
Frecuencia	60 Hz
Tipo de montaje	Riel dim

b) Selección del conductor eléctrico del circuito de control

Según las especificaciones de conexión del contactor LC1K0610M7, se recomienda utilizar cables con una sección máxima de 2.5 mm², con esta información se selecciona un conductor # 18 AWG, para los elementos que conforman el circuito de control.

c) Selección del conductor eléctrico de la bomba de recirculación

Para la selección del conductor adecuado para la bomba de recirculación se toma en cuenta la corriente nominal, se calcula con la **Ec. 12**.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \eta * f_p}$$

$$I = \frac{45 W}{\sqrt{3} * 220 V * 0,75 * 0.8}$$

$$I = 0,19 A$$

El valor de la corriente nominal es de 0,2 (A), se seleccionara un cable de 3 conductores # 18 AWG.

Para la verificación del calibre del conductor es el adecuado se procede a determinar la caída de tensión con la **Ec. 14**:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} ZLI}{V_{LL}} * 100$$

Ec. 14

Dónde:

 ΔV = caída de tensión en el cable, en %

I = corriente eléctrica que circula a través del conductor, en A

L = longitud total del circuito, en km

 V_{LL} = tensión entre fases, en VZ = impedancia eléctrica del cable, en Ω / km

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 20,9 \frac{\Omega}{km} \cdot 0,01 km \cdot (0,2 A)}{220 V} * 100$$

$$\Delta V = 0,032 \%$$

Con el cálculo determinado, el conductor adecuado para la bomba de recirculación es el cable fuerza-control de 3 conductores # 18 AWG. En el **ANEXO I 3**, se puede observar las características del conductor seleccionado.

2.9.5. Características de la resistencia eléctrica

Para mantener la temperatura de 30° C en el interior del biofiltro se requiere de una resistencia con las siguientes características **Tabla 25 (ANEXO I 5)**.

Tabla 25:

Características de la resistencia eléctrica

Modelo	T009
Potencia	2500 W
Voltaje	220 V
Intensidad de operación	11,36 A
Frecuencia	60 Hz

a) Selección del contactor

Para la selección del contactor se toma en cuenta las siguientes características:

- Categoría de servicio según su aplicación: AC-1
- Voltaje de red: 220/240 Vac
- Tipo de accionamiento: Electromecánico.

Se seleccionará un contactor o relé auxiliar disponible en el mercado de 20 A, sus características se puede ver en la **Tabla 26**. Para más especificaciones revisar **ANEXO I 6**.

Tabla 26:
Especificaciones del relé auxiliar

Marca	TELEMECANIQUE
Tipo	LC1K09M7
Voltaje de operación	220 VAC
Voltaje de bobina	220 VAC
Intensidad nominal	20 A
Potencia del contactor	4 HP
Frecuencia	60 Hz
Tipo de montaje	Riel dim

b) Selección del conductor eléctrico del circuito de control

Según las especificaciones de conexión del contactor LC1K12M7, se recomienda utilizar cables con una sección máxima de 2.5 mm², con esta información se seleccionara un conductor # 18 AWG, para los elementos que conforman el circuito de control.

c) Selección del conductor eléctrico de la resistencia de calentamiento

Para la selección del conductor adecuado para la resistencia de calentamiento se toma en cuenta la corriente nominal, se calcula con la **Ec. 15**.

$$I = \frac{P}{V}$$

Ec. 15

$$I = \frac{2500 \text{ W}}{220 \text{ V}}$$

$$I = 11,36 \text{ A}$$

El valor de la corriente nominal es de 11,36 (A), se selecciona un cable de 3 conductores # 12 AWG.

Para la verificación del calibre del conductor es el adecuado se procede a determinar la caída de tensión con la **Ec.16**:

$$\Delta V = \frac{2 Z L I}{V} * 100$$

Ec. 16

Dónde:

ΔV = caída de tensión en el cable, en %

I = corriente eléctrica que circula a través del conductor, en A

L = longitud total del circuito, en km

V = tensión entre fases, en V

Z = impedancia eléctrica del cable, en Ω / km

$$\Delta V = \frac{2 * 5,41 \frac{\Omega}{\text{km}} 0,01 \text{ km} (11,36 \text{ A})}{220 \text{ V}} * 100$$

$$\Delta V = 0,55 \%$$

Con el cálculo determinado, el conductor adecuado para la resistencia de calentamiento es el cable fuerza-control de 3 conductores # 12 AWG. En el **ANEXO I 3**, se puede observar las características del conductor seleccionado.

2.9.6. Selección del interruptor termomagnético (Breaker)

Para dimensionar el breaker de protección se considera la carga instalada total del sistema, los componentes se visualizan en la **Tabla 27**.

Tabla 27:

Características del interruptor termo magnético

EQUIPO	# ELEMENTOS	Pn (W)	S (VA)
Motor del soplador	1	420	525
Bomba de recirculación	1	45	56
Resistencia de calentamiento	1	2500	2500
		Total	3081

Para el cálculo de la corriente total consumida del sistema se calcula con la **Ec. 17**:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$

Ec. 17

$$I = \frac{3081 \text{ VA}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V}}$$

$$I = 8,08 \text{ A}$$

Por criterio de seguridad se calcula el 25%, de la corriente nominal para la protección.

$$I_{Breicker} = 1,25 * 8,08 A$$

$$I_{Breicker} = 10,11 A$$

Se seleccionará un breaker disponible en el mercado de la marca SCHNEIDER ELECTRIC de 16 amperios 3 polos. (**ANEXO I 7**).

Para el sistema de control con el objetivo de proteger los elementos, se seleccionará un breaker de marca SCHNEIDER ELECTRIC 6 amperios 2 polos existentes en el mercado. (**ANEXO I 7**).

2.9.7. Selección del controlador de temperatura y humedad.

Se seleccionará un controlador de temperatura y humedad de la marca FULL GAUGE CONTROLS cuyo objetivo es indicar y mantener la temperatura de 35° C y la humedad del 60% en el interior del biofiltro.

Las características del controlador se detallan en la **Tabla 28**, para mayor información revisar **ANEXO I 8**

Tabla 28:

Características del controlador de temperatura y humedad

Marca	FULL GAUGE CONTROLS
Modelo	MT – 530 Super
Voltaje de alimentación	120 – 230 V
Temperatura de control	-10 – 70 °C
Humedad de control	10 – 80 %
Sensor de temperatura y humedad	Incluido en un único bulbo, que disminuye el espacio en el cableado de la instalación

2.9.8. Selección de accesorios eléctricos.

a) Parada de emergencia

En casos de fallas y emergencia para la desconexión rápida, se seleccionará un Interruptor pulsar-tirar marca SIEMENS, desconectando todo el circuito de mando y control, sus características se indica en la **Tabla 29. ANEXO I 9.**

Tabla 29:

Características del interruptor

INTERRUPTOR	CARACTERÍSTICAS
Modelo	3SB3 01-1CA21
Colores	Rojo
Tipo	Pulsar-tirar
Equipamiento	1 NA + 1 NC

b) Selector de dos posiciones.

El selector de dos posiciones ON/OFF se utilizará para el accionamiento del sistema de conducción, cuyas características se detallan en la **Tabla 30 ANEXO I 10.**

Tabla 30:

Características del selector

SELECTOR	CARACTERÍSTICAS
Marca	CAMSCO
Modelo	SKOS-ED25
# de posiciones	2
Equipamiento	1 NA
Diámetro	22 mm

c) Pulsadores.

Para el accionamiento manual del sistema se seleccionará pulsadores normalmente abierto y normalmente cerrado cuyas características se detallan en la **Tabla 31 ANEXO I 11**.

Tabla 31:

Características del pulsador

PULSADORES	CARACTERÍSTICAS
Marca	CAMSCO
Tipo	PB-XA11
Equipamiento	1 NA / 1 NC
Voltaje	AC 220V
Color	Verde y Rojo

d) Luces indicadoras

Para visualizar la marcha o paro del sistema, se seleccionará las luces indicadoras, cuyas características se detallan en la **Tabla 32. ANEXO I 12**.

Tabla 32:

Características de las luces indicadoras

LUCES PILOTO	CARACTERÍSTICAS
Marca	CAMSCO
Tipo	RS-EW
Voltaje	AC 220V
Color	Verde y Rojo

2.10. Sistema eléctrico de la hacienda San Francisco con biogás.

El sistema eléctrico de potencia de la Hacienda San Francisco esta alimentado desde la sub estación Mulaló por el alimentador Guaytacama – Saquisilí y el alimentador Mulaló – Aláquez como se puede observar en la **Figura 24**



Figura 24: Sistema eléctrico de potencia Hacienda San Francisco

2.10.1. Análisis de la demanda máxima coincidente del SEP

Para el análisis de la demanda máxima coincidente de la red de Media Tensión se lo ejecutará a partir de la información obtenida en [19] , con el fin de alcanzar un diseño eficaz y efectivo del sistema eléctrico con biogás de la Hacienda San Francisco.

La Hacienda San Francisco actualmente cuenta con 4 cámaras de transformación en media tensión como se muestra en la siguiente **Tabla 33** y el diagrama unifilar del (**ANEXO J-1**).

Tabla 33:

Carga instalada en los transformadores

Área	Cámaras de transformación	Código transf. Según ELEPCO	Pot. Transf. (kVA)	Carga instalada (kVA)	Disponibilidad (kVA)
Biodigestor	CT1	8246	50	23,59	26,41
Establo	CT2	1408	30	29,46	0,54
Rociadores	CT3	1409	75	47,45	27,55
Pivotes	CT4	1536	75	39,47	35,53

2.10.2. Curvas de la demanda máxima coincidente por áreas

Se procederá a obtener las curvas de la demanda máxima coincidente de cada cámara de transformación, los datos obtenidos durante las 24 horas del día miércoles en cada cámara de transformación, como se indica en las siguientes figuras.

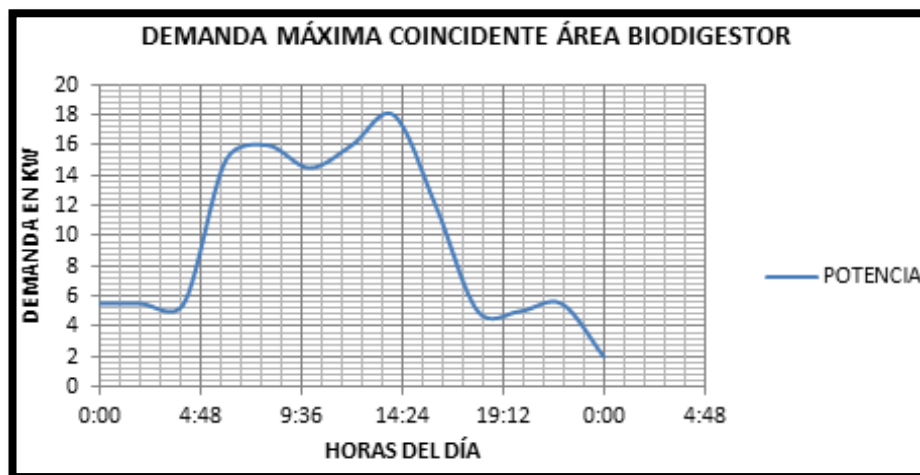


Figura 25: Curva demanda máxima Área - Biodigestor

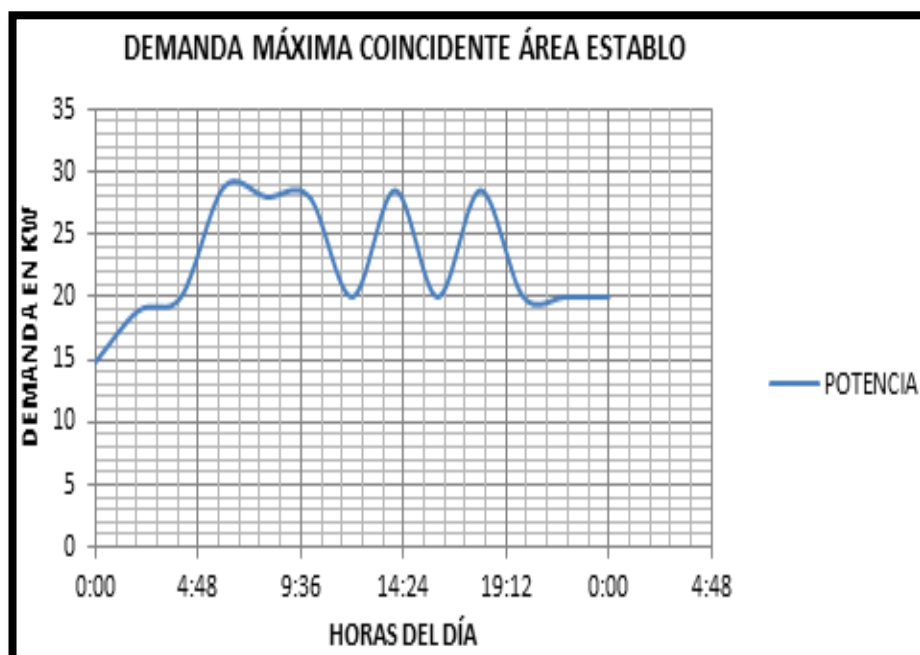


Figura 26: Curva demanda máxima Área – Establo

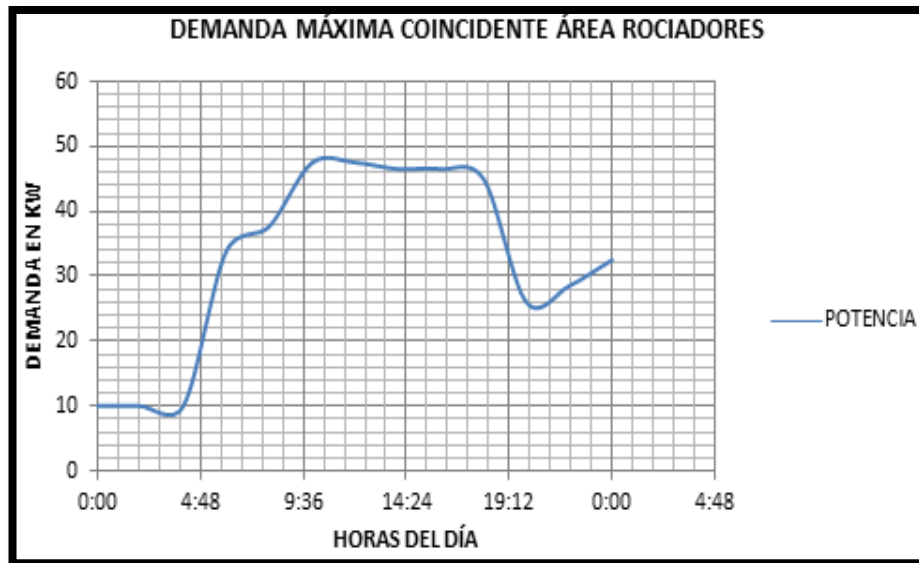


Figura 27: Curva demanda máxima Área – Rociadores

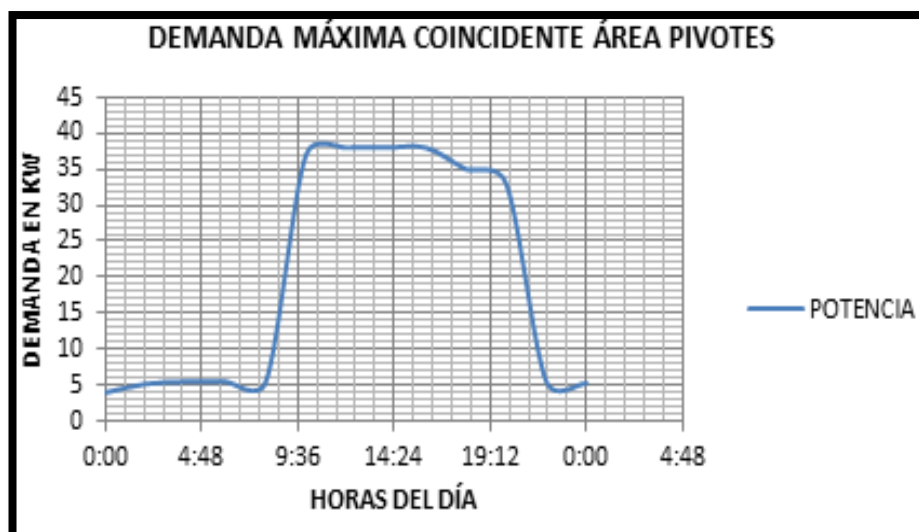


Figura 28: Curva demanda máxima Área – Pivotes

2.10.3. Curva de la demanda máxima coincidente del SEP.

Para conseguir la curva de la demanda máxima coincidente que maneja todo el sistema eléctrico de potencia de la Hacienda San Francisco, se realizó la sumatoria de los ramales en las diferentes horas del día miércoles,

con lo cual se obtuvo la curva general de la demanda máxima coincidente que existe en la Hacienda San Francisco, la cual se puede ver en la **Figura 29**.

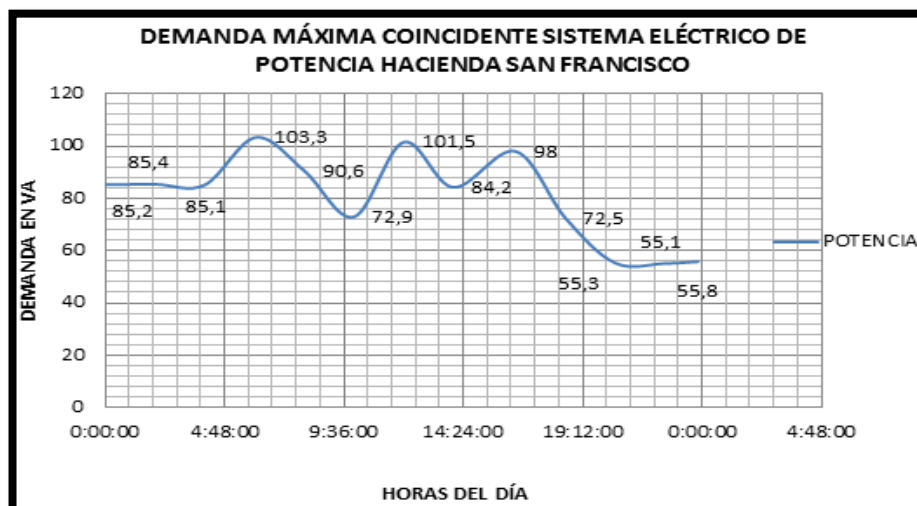


Figura 29: Curva demanda máxima SEP Hacienda San Francisco

2.10.4. Valores de la demanda máxima coincidente

Los valores de la demanda máxima coincidente y las horas en las que se produjeron; se presentan en la siguiente **Tabla 34**

Tabla 34:

Valores de demanda máxima coincidente

DEMANDA MÁXIMA COINCIDENTE DE LA HACIENDA SAN FRANCISCO				
ÁREA	CAMARAS DE TRANSFORMACIÓN	HORA DEL DÍA	DEMANDA MÁXIMA COINCIDENTE	UNIDADES
Biodigestor	CT1	14:10	18	KW
Establo	CT2	06:00	28,8	KW
Rociadores	CT3	10:00	47,8	KW
Pivotes	CT4	10:36	38,5	KW
TOTAL SEP		06:35	103,3	KW

Para las alternativas de solución se realizará un análisis por áreas según los datos obtenidos a las horas señaladas en las cámaras de transformación del SEP.

2.10.5. Alternativas de solución para el sistema eléctrico con biogás en la Hacienda San Francisco

Después de haber realizado un análisis de la situación actual del sistema eléctrico de la Hacienda San Francisco y logrado obtener las demandas máximas coincidentes de las cámaras de transformación en cada área, basados en el consumo actual de energía eléctrica dentro de la hacienda, se plantean las siguientes alternativas de solución para el suministro de energía eléctrica en base a biogás.

2.10.6. Solución 1.

Transferencia de Energía en Media Tensión; con la generación de energía eléctrica a biogás, con una producción de 23 m³/h de biogás, el sistema de generación de energía eléctrica con biogás entregara 12 kW – 15 kVA.

El generador de 12 (kW), se ubica en la cámara de transformación 1, proveerá de flujo energético con biogás a la barra de la cámara 1 en los ramales **B** y **C (ANEXO J-2)** y hará uso del transformador 1 como transformador elevador, con el fin de elevar el voltaje del generador hasta los niveles suministrados por ELEPCO S.A.; de 13,8 (kV), de esta manera entregar flujo eléctrico a la misma, de 15:00 a 05:00. Tomando en cuenta el porcentaje de sobrecarga se tendrá un transformador de 15 kVA.

a) **Seccionamiento de dependencias en la Hacienda San Francisco.**

Con el propósito de que exista mejor rendimiento y no poner en riesgo el buen funcionamiento en la solución 1 del sistema eléctrico con biogás, se procede a seccionar dependencias de menor carga como se indica en la siguiente **Tabla 35** con el fin de sustituir parcialmente la demanda máxima que existe en la hacienda.

Tabla 35:

Seccionamiento de Dependencias.

Seccionamiento de Dependencias			
Áreas	Cámara de transformación	kW	Dependencias que no sustituirá
Biodigestor	CT 1	16,4	Soplador Bomba caldero 1 Bomba caldero 1 Agitador Bomba biol 1 Bomba biol 2

El seccionamiento para el uso del generador a biogás tendrá que ser en forma manual por parte de los encargados de mantenimiento eléctrico, ya que cada breaker con los que cuenta al momento dichas dependencias no son automáticos como se puede observar en el (**ANEXO J-2**), donde se destaca las dependencias que abarca el sistema de biogás y el seccionamiento de las mismas.

Debido al seccionamiento realizado para las dependencias que no estarán funcionando durante el sistema de biogás de la solución 1, se reducirá el 91% de la demanda máxima utilizada y así existirá mayor confiabilidad del generador.

b) Análisis de las curvas de la demanda máxima coincidente por áreas.

Para la solución descrita se tomó en cuenta los valores de la demanda máxima coincidente que existe en la cámara de transformación, en la cámara 1 para ser abastecido por el generador a biogás. La curva de la demanda máxima coincidente para la solución 1 se la puede observar en la **Figura 30**.

Con el generador a biogás de 12 (kW) con una energía entregada de 7.776 kWh/mes, la energía consumida durante las 07:00 hasta las 22:00 horas es de 3.765,8 kWh/mes, teniendo una entrega de energía del 51,6% (4.010,2 kWh/mes).

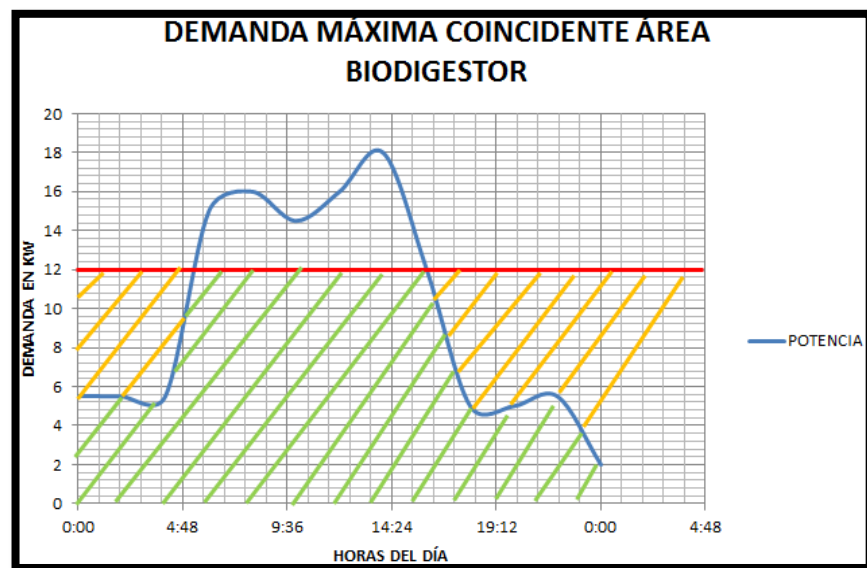


Figura 30: Demanda máxima coincidente área biodigestor

Con el generador a biogás de 12 (kW) con una energía entregada de 7.776 kWh/mes, la energía consumida en todo el sistema durante las 07:00 hasta las 22:00 horas es de 20.800 kWh/mes, teniendo un déficit de energía del 62,6% (13.024 kWh/mes) como se puede ver en la **Figura 31**.

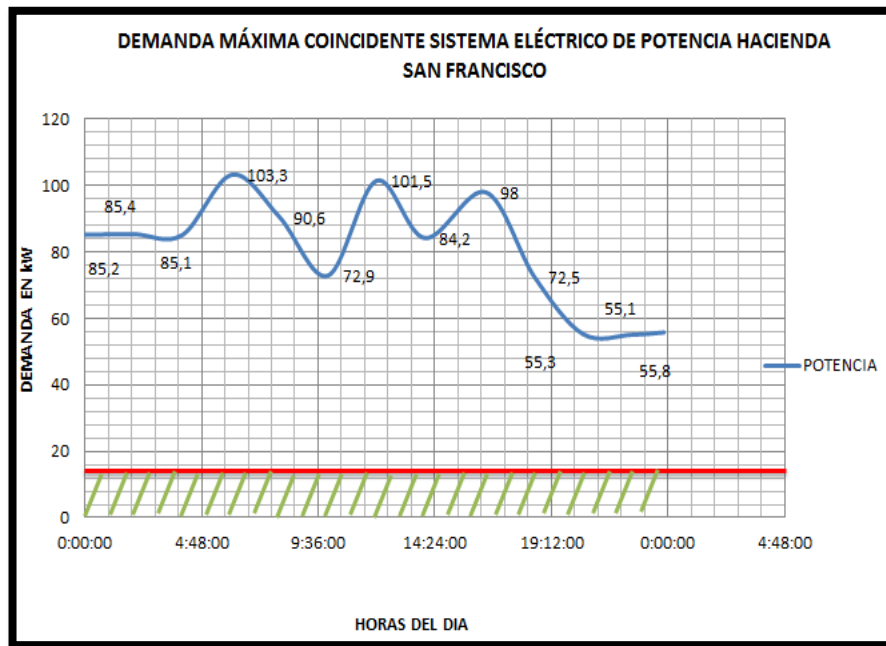


Figura 31: Demanda máxima coincidente SEP Hacienda San Francisco

c) Valores de la demanda

Los valores de la demanda máxima coincidente de la solución 1 con el generador involucrado, a las horas en las que se produjeron y en las cámaras conformadas se presentan en la siguiente **Tabla 36**.

Tabla 36:

Demanda Máxima Coincidente Solución

Demanda Máxima Coincidente Solución			
Solución con generador	Hora del día	Demanda máxima	Unidades
Generador 12 kW	14:10	18	kW

A partir de estos datos obtenidos, damos valores con un porcentaje de distorsión armónica según el analizador de calidad energética con los datos tomados en la cámara de transformación de la hacienda.

d) Valores con porcentaje de distorsión armónica.

El factor de carga que se incrementa a partir de la potencia máxima coincidente utilizada en el circuito estudiado, tomando en cuenta las medidas obtenidas con el analizador de energía, del porcentaje de Distorsión Armónica en la cámara de transformación y el tipo de carga que poseen, se consiguió un porcentaje equivalente de la cámara de transformación del 8% más del valor actual que se consiguió en la demanda máxima coincidente para la solución 1.

Tabla 37:

Demanda Máxima con Porcentaje de Distorsión Armónica

Demanda Máxima con Porcentaje de Distorsión Armónica			
Solución 1	Demanda máxima coincidente	Porcentaje de distorsión armónica	Total
Generador 12 kW	18 KW	8%	19,44 KW

Con lo cual establecemos la demanda máxima con porcentaje de Distorsión Armónica para la Solución 1 por medio de la **Tabla 37**.

Donde se puede observar que la máxima demanda, con el 8% de distorsión armónica en el generador a biogás, se produce a las 14:10 de la tarde con un valor de 18 (kW), lo cual no permite que el generador a biogás de 12 (kW) sea suficiente para que actuara como sustituto total de sistema eléctrico de la hacienda.

En la **Figura 32** se puede observar cómo funciona la solución 1 dentro de la hacienda con sus respectivas cámaras de transformación.



Figura 32: Solución 1

Con la finalidad de obtener una mayor confiabilidad en la solución 1 del sistema eléctrico con biogás de la hacienda debe tomar muy en cuenta el Seccionamiento de Dependencias en forma manual por parte del personal de mantenimiento eléctrico ya que trabajaría al límite y esto ocasionará problemas.

e) Elementos y equipos que intervienen en la solución 1.

Los equipos y elementos que intervienen en la solución 1 están especificados en la Tabla donde podemos apreciar todos aquellos elementos con los que cuenta la Hacienda San Francisco y el equipo adicional que intervendría en caso de energía eléctrica con biogás como se observa en la **Tabla 38.**

Tabla 38:

Elementos y Equipos que intervienen en la Solución1.

Elementos y Equipos en la Solución1				
Elemento o equipo	Características técnicas	Existente en la hacienda	Adicional en la hacienda	Área
CT1	50 kVA 13,2 kV / 220-127 V	X		BIODIGESTOR
CT2	30 kVA 13,2 kV / 220-127 V	X		ESTABLO
CT3	75 kVA 13,2 kV / 440-220 V	X		ROCIADORES
CT4	75 kVA 13,2 kV / 440-220 V	X		PIVOTES
FUSIBLE MEDIA TENSIÓN	3F	X		BIODIGESTOR
BREAKER TERMO MAGNÉTICO	75 A – 3P	X		BIODIGESTOR
GENERADOR BIOGÁS	12 kW 480 V		X	BIODIGESTOR
CONTADOR DOBLE SENTIDO	EPQS – CLASE 1		X	BIODIGESTOR
SIN CRONOSCOPIO	SYN 5302		X	BIODIGESTOR
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN			X	BIODIGESTOR

f) Funcionamiento del sistema eléctrico con biogás solución 1.

La Solución 1 consiste en la Transferencia de Energía en Media Tensión y Baja Tensión, es decir el sistema de energía eléctrica con biogás.

La energía obtenida en la Hacienda San Francisco suministrada por ELEPCO S.A. se encuentra disponible desde la sub estación Mulalo, en el alimentador Guaytacama – Saquisilí y Mulaló – Aláquez.

El sistema de Transferencia de energía se la realiza mediante un Generado a biogás de 12 (kW), así como también mediante un tablero de sincronismo, los equipos de sincronización son necesarios donde un generador debe ser acoplado a la red. Los interruptores de potencia pueden ser cerrados únicamente si las tensiones en ambos lados del interruptor abierto están en sincronismo. De lo contrario, se pueden producir perturbaciones en la red, disparo del interruptor, o, en casos extremos,

daños en el generador y el transformador, mediante la cámara CT1 se eleva el voltaje a 13,8 (kV), contando con sus respectivas protecciones.

g) Esquema general de conexión del sistema eléctrico con biogás solución 1

Los esquemas de conexión con los que cuenta el sistema de energía eléctrica con biogás para la solución 1, se encuentran en el (ANEXO J-3) especificando la alimentación por parte del generador en el diagrama unifilar del sistema.

h) Tiempo de validez.

Para la Solución 1 mediante el análisis respectivo de carga la demanda máxima con la que cuenta el área del biodigestor en la Hacienda San Francisco es de 18 (kW).

La alimentación con un generador a biogás de 12 (kW) con una energía entregada de 7.776 kWh/mes, la energía consumida durante las 07:00 hasta las 22:00 horas es de 3.765,8 kWh/mes, teniendo una entrega de energía del 51,6% (4.010,2 kWh/mes). Puesto que el generador funcionaría al límite de sus capacidades, se tiene un tiempo de validez de la solución propuesta en 3 años 10 meses.

2.10.7. Solución 2.

Transferencia de Energía en Media Tensión; con la generación de energía eléctrica a biogás, con una producción de 50 m³/h de biogás, en caso de corte del suministro eléctrico de energía, el sistema de generación de energía eléctrica con biogás entregara 36 kW, por lo que se abastecerá al área del biodigestor.

El generador de 36 (kW) ubicado en la cámara de transformación 1, proveerá de flujo energético con biogás a la barra de la cámara 1 y hará uso de un transformador como transformador elevador, con el fin de elevar el voltaje del generador hasta los niveles suministrados por ELEPCO S.A.; de 13,8 (kV) y de esta manera abastecer de flujo eléctrico a la misma.

a) Análisis de las curvas de la demanda máxima coincidente por grupos

Para la solución descrita se tomó en cuenta los valores de la demanda máxima coincidente que existe en la cámara de transformación “1” para ser abastecidos por el generador con biogás. La curva de la demanda máxima coincidente para la solución 2 se las puede observar en la **Figura 33**.

Con un generador a biogás de 36 (kW) con una energía entregada de 23.328 kWh/mes, la energía consumida durante las 07:00 hasta las 22:00 horas será de 3.765,8 kWh/mes, teniendo una entrega del 83,9% sobrante del generador (19.562,2 kWh/mes).

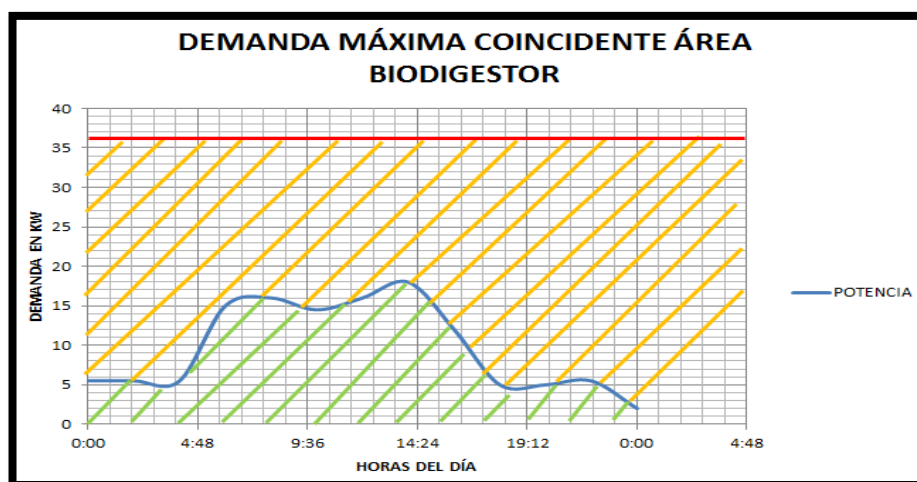


Figura 33: Demanda máxima coincidente área biodigestor

Con un generador a biogás de 36 (kW) con una energía entregada de 23.328 kWh/mes, la energía consumida en todo el sistema durante las 07:00

hasta las 22:00 horas será de 20.800 kWh/mes teniendo una entrega del 12,15% sobrante del generador (2.528 kWh/mes) (**Figura 34**).

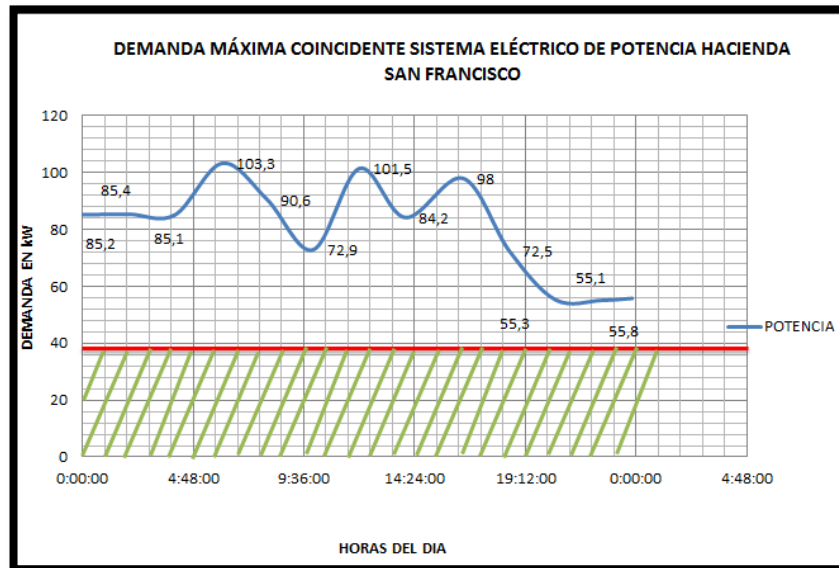


Figura 34: Demanda máxima coincidente SEP Hacienda San Francisco

b) Valores de la demanda

Los valores de la demanda máxima coincidente de la solución 2 con el generador involucrado, a las horas en las que se produjeron y en las cámaras conformadas se presentan en la siguiente **Tabla 39**.

Tabla 39:

Demanda Máxima Coincidente Solución

Demanda Máxima Coincidente Solución			
Solución con generador	Hora del día	Demanda máxima	Unidades
Generador 36 kW	14:10	18	kW

A partir de estos datos obtenidos, damos valores con un porcentaje de distorsión armónica según el analizador de calidad energética con los datos tomados en la cámara de transformación de la hacienda.

c) Valores con porcentaje de distorsión armónica.

El factor de carga que se incrementa a partir de la potencia máxima coincidente utilizada en el circuito estudiado, tomando en cuenta las medidas obtenidas con el analizador de energía, del porcentaje de Distorsión Armónica en la cámara de transformación y el tipo de carga que poseen, se consiguió un porcentaje equivalente de la cámara de transformación del 8% más del valor actual que se consiguió en la demanda máxima coincidente para la solución 2.

Tabla 40:

Demanda Máxima con Porcentaje de Distorsión Armónica

Demanda Máxima con Porcentaje de Distorsión Armónica			
Solución 1	Demanda máxima coincidente	Porcentaje de distorsión armónica	Total
Generador 36 kW	18 KW	8%	19,44 KW

Con lo cual establecemos la demanda máxima con porcentaje de Distorsión Armónica para la Solución 2 por medio de la **Tabla 40**.

Donde se puede observar que la máxima demanda, con el 8% de distorsión armónica en el generador a biogás, se produce a las 14:10 de la tarde con un valor de 18 (kW), lo cual permite que el generador a biogás de 36 (kW) sea suficiente para que actúe como sustituto total de sistema eléctrico de la hacienda.

En la **Figura 35** se puede observar cómo funciona la solución 2 dentro de la hacienda con sus respectivas cámaras de transformación.

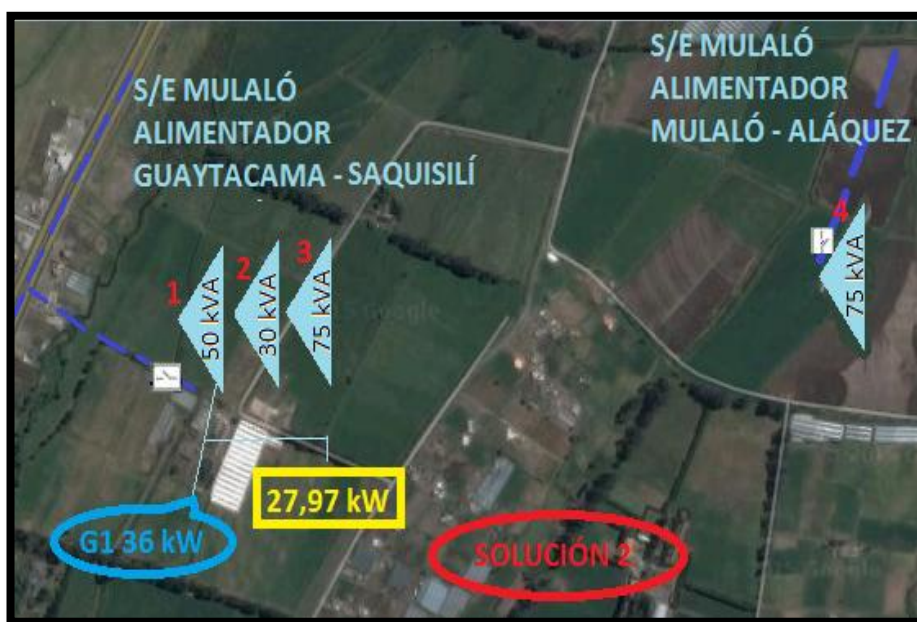


Figura 35: Solución 2

Con la finalidad de obtener una mayor confiabilidad en la solución 2 del sistema eléctrico con biogás de la hacienda debe tomar muy en cuenta el Seccionamiento de Dependencias en forma manual por parte del personal de mantenimiento eléctrico.

d) Elementos y equipos que intervienen en la solución 2.

Los equipos y elementos que intervienen en la solución 2 están especificados en la **Tabla 41** donde podemos apreciar todos aquellos elementos con los que cuenta la Hacienda San Francisco y el equipo adicional que intervendría en caso de energía eléctrica con biogás.

Tabla 41:
Elementos y Equipos que intervienen en la Solución 2.

Elementos y Equipos en la Solución 2				
Elemento o equipo	Características técnicas	Existente en la hacienda	Adicional en la hacienda	Área
CT1	50 kVA 13,2 kV / 220-127 V	X		BIODIGESTOR
CT2	30 kVA 13,2 kV / 220-127 V	X		ESTABLO
CT3	75 kVA 13,2 kV / 440-220 V	X		ROCIADORES
CT4	75 kVA 13,2 kV / 440-220 V	X		PIVOTES
FUSIBLE MEDIA TENSIÓN	3F	X		BIODIGESTOR
BREAKER TERMO MAGNÉTICO	75 A – 3P	X		BIODIGESTOR
GENERADOR BIOGAS	A 36 kW 480 V		X	BIODIGESTOR
CONTADOR DOBLE SENTIDO SIN CRONOSCOPIO	DE EPQS – CLASE 1		X	BIODIGESTOR
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	SYN 5302		X	BIODIGESTOR

i) Funcionamiento del sistema eléctrico con biogas solución 2.

La Solución 2 consiste en la Transferencia de Energía en Media Tensión y Baja Tensión, es decir el sistema de energía eléctrica con biogás.

La energía obtenida en la Hacienda San Francisco suministrada por ELEPCO S.A. se encuentra disponible desde la sub estación Mulaló, en el alimentador Guaytacama – Saquisilí y Mulaló – Aláquez.

El sistema de Transferencia de energía se la realiza mediante un Generado a biogás de 36 (kW), mediante un tablero de sincronismo se controla el voltaje, frecuencia y secuencia que entrega el generador, para ser entregado a la red en los mismos valores, mediante la cámara CT1 se eleva

el voltaje a 13,8 (kV), así como también se contara con sus respectivas protecciones.

j) Esquema general de conexión del sistema eléctrico con biogás solución 2

Los esquemas de conexión con los que cuenta el sistema de energía eléctrica con biogás para la solución 2, se encuentran en el (**ANEXO J-4**) especificando la alimentación por parte del generador en el diagrama unifilar del sistema.

k) Tiempo de validez.

Para la Solución 2 mediante el análisis respectivo de carga la demanda máxima con la que cuenta el área del biodigestor en la Hacienda San Francisco es de 18 (kW).

La alimentación con un generador a biogas de 36 (kW) con una energía entregada de 23.380 kWh/mes, la energía consumida durante las 07:00 hasta las 22:00 horas será de 20.800 kWh/mes, teniendo una entrega del 12,15% sobrante del generador (2.528 kWh/mes). Puesto que el generador funcionaría al límite de sus capacidades, se tiene un tiempo de validez de la solución propuesta en 2 año 1 mes.

2.11. Diseño y construcción del prototipo

2.11.1. Consideraciones de diseño.

En el diseño conceptual del prototipo, se definen las partes y mecanismos principales que llevan a cabo las funciones deseadas del dispositivo, tomando en cuenta que es una continuación de un proyecto ya realizado, la continuación en este caso es el sistema de generación de

energía eléctrica mediante la producción y quema de biogás en un motor de combustión interna.

2.11.2. Manejo de los factores en el prototipo

Algunos de los factores que influyen en el proceso de digestión anaerobia se resumen básicamente en los siguientes elementos:

- Temperatura
- PH
- Presión
- Producción de biogás

El objetivo del prototipo es simular el sistema de generación de energía eléctrica, además de llegar a la obtención y aprovechamiento de biogás, lo cual permite obtener resultados reales en cuanto a la combustión y producción de biogás dependiendo de la carga al digester. Estos resultados permitirán analizar la factibilidad para la construcción del sistema de conducción de biogás propuesto y además si es o no posible aprovechar el biogás generado en el mismo.

Se tiene un sistema de calentamiento para el manejo de temperatura, el cual mantendrá a una temperatura de alrededor de 36°C a la mezcla, para así obtener resultados óptimos en la producción de biogás, así como también para la homogenización de la mezcla se realiza la carga de materia orgánica con dilución al 10% de masa seca.

Se debe considerar la presión y el PH tanto en la carga como en la descarga, para así obtener los datos necesarios para mantener una buena producción de biogás.

2.11.3. Criterios y consideraciones de 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:

- La producción de biogás diaria.
- Moto generador de combustión interna
- Gasómetro para acumulación del biogás.

2.12. Diseño del prototipo

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

2.12.1. Parámetros de diseño

Para el diseño del prototipo se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros:

a) Producción de biogás en el digestor

La producción de biogás en el digestor es de 20 litros diarios utilizando estiércol vacuno como materia orgánica para el digestor como se observa en la bitácora de carga **Tabla 42**.

Tabla 42:

Bitácora de carga diaria

BITÁCORA DE CARGA DIARIA						
FECHA	% DE AGUA	% DE SÓLIDOS	TIPO DE SÓLIDOS	TEMPERATURA	PH	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LITROS
04/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	34.5	7	20
05/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	35	7	19
06/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	35.8	7	20
07/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	35.2	7	18
08/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	35.5	7	20
09/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	36	7	22
10/01/2014	4 lt	1 lt - 1 kg	Estiércol de vaca	35.9	7	21
PROMEDIO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DIARIO						20

b) Porcentaje de metano del biogás

Para determinar el porcentaje de metano en el biogás se realizó una cromatografía como se observa en la **Tabla 43**

Tabla 43:

Características del biogás

COMPONENTE	MUESTRA	
	% PESO	% MOLES
NITRÓGENO	9,22	8,82
METANO	32,10	53,72
CO ₂	56,71	34,51
AGUA	1,08	2,84
H ₂ S	0,1	0,08

c) Especificaciones técnicas del motor generador

Los datos del generador se muestran en la **Tabla 44** [25] **ANEXO J**

Tabla 44:

Especificaciones técnicas del motor generador

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR GENERADOR LUTOOL	
Modelo	LUTOOL pw 90
Tipo de motor	OHV Eje de levas en block y válvulas en la culata
Combustible	Gasolina
Tanque de combustible	8 litros
Tiempo de trabajo continuo	6 Horas
Generado	
Frecuencia nominal (Hz):	50-60
Regular de voltaje:	Condensador
Max. De salida de ca (va): 1.0/1.1 kw	1.0/1.1kW
Nominal de voltaje de ca (v):	110/120/220/230/240
Ratd de salida de ca (va):	0.9/1.0kW

2.12.2. Gasómetro

El gasómetro permite el almacenamiento de biogás posible para equilibrar las fluctuaciones en la producción, el consumo y los cambios de volumen causados por la variación en la temperatura o producción.

Existen diferentes tipos de gasómetros para biogás disponibles en el mercado, tales como los de campana, flotantes y de membranas, los cuales, pueden ser implementados según el tipo de planta y su aplicación.

Para este prototipo se implementa un gasómetro de membrana, fabricado con material AQFlex, válvulas de bola y accesorios de PVC, como se ve en la **Figura 36**.

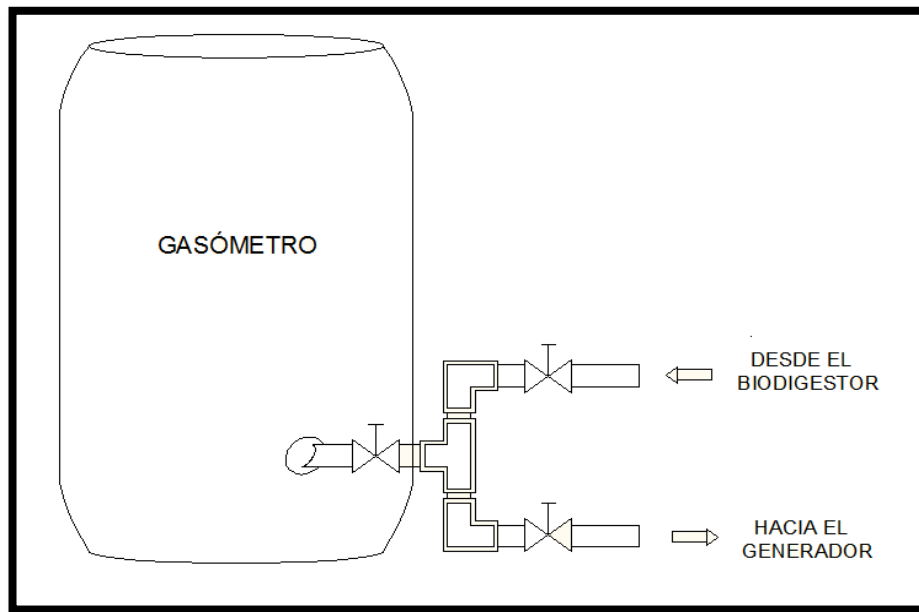


Figura 36: Gasómetro.

2.12.3. Diseño del gasómetro

El gasómetro se dimensionara tomando los siguientes parámetros:

a) Potencia del generador

El motor generador de marca luttol tiene una potencia máxima de 1100 W con una salida de voltaje a 120 V

b) Tiempo requerido para el funcionamiento

Para el funcionamiento del prototipo se requiere un tiempo como base de 30 minutos.

Para el diseño se tiene en cuenta los siguientes datos como se muestra en la **Tabla 45**.

Tabla 45:**Datos de diseño**

DATOS PARA EL DISEÑO	
Potencia del generador	1.1 kW
Producción de biogás	20 lt/día (0,00083 m ³ /h)
Porcentaje de metano en el biogás	53,72
Tiempo de funcionamiento	30 minutos

Del ítem 1.5.1 se tiene que un 1 m³ de biogás genera 2,2 kWh con un porcentaje de metano de 65 % por tanto si se tiene un 53,72 % de metano producirá 1,81 kWh.

Entonces:

Si 1 m³ genera 1,81 kWh y considerando una eficiencia térmica de 35 % se tendrá una generación óptima de 1,18 kWh y para la capacidad del generador de 1,1 kW se requiere de 0,92 m³ de biogás para el funcionamiento de 1 hora, como se quiere para 30 minutos se tendrá un volumen requerido de 0,46 m³ o 460 litros.

Por lo tanto como se requiere el volumen de 0,46 m³ y considerando un radio de 0,3 m del gasómetro se calcula la altura como se indica:

$$v = \pi r^2 h$$

$$h = \frac{v}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0,46 \text{ m}^3}{\pi 0,3 \text{ m}^2}$$

$$h = 1,62 \text{ m}$$

Por lo tanto se tendrá un gasómetro de 0,3 metros de diámetro con una altura de 1,62 metros.

Considerando una producción de 20 litros de biogás producidos en el digestor se pretende llenar el gasómetro en aproximadamente en 23 días en las condiciones del digestor antes mencionadas.

2.12.4. Selección de la tubería

Para la selección de la tubería se toma en cuenta los datos de la **Tabla 46**:

Tabla 46:

Diseño de la tubería

Datos	
P₁ (salida gasometro)	1,76 kPa
P₂ (entrada generador)	1,58 kPa
Q	1,8 m ³ /h
T₁	20 °C
L	3 m
R	52,8 Nm/N°K
V	1 m/s

Se realizara los cálculos respectivos para el dimensionar el diámetro de la tubería para el transporte del biogás utilizando la **Ec. 9** [15]:

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Se procede a calcular el peso específico con la **Ec. 10** [23]:

$$\gamma = \frac{P}{RT}$$

$$P = P_{atm} + P_{man}$$

$$P = 101,3 \text{ kPa} + 1,58 \text{ kPa}$$

$$P = 102,88 \text{ kPa}$$

$$T = T_1 + 273$$

$$T = 20 + 273$$

$$T = 293 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\gamma = \frac{102,88 \times 10^3 \text{ Pa}}{52,8 \frac{\text{Nm}}{\text{N}^\circ\text{K}} \cdot 293 \text{ }^\circ\text{K}}$$

$$\gamma = 6,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Considerando que:

$$\Delta P \approx 0 \quad \gamma_1 \approx \gamma_2$$

$$Z_1 = Z_2 = 0$$

$$v_1 = v_2 \quad \text{Mismo } \emptyset \text{ de tubería}$$

Entonces reemplazando los datos de la **Tabla 46** en la **Ec. 9** se tiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} - h_L = \frac{P_2}{\gamma}$$

$$P_1 = P_2 + \gamma h_L$$

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

$$h_L = \frac{1,76 - 1,58 \text{ kPa}}{6,6 \frac{N}{m^3}}$$

$$h_L = 27,3 \text{ m}$$

Para el cálculo del diámetro de la tubería se toma en cuenta la **Ec. 10** [15]:

$$D = 0,66 \epsilon^{1,25} \frac{LQ^2}{g h_L}^{4,75} + vQ^{9,4} \frac{L}{g h_L}^{5,2}^{0,04}$$

Dónde:

ϵ = Rugosidad del plástico = $3 \times 10^{-7} \text{ m}$

L = Longitud de la tubería = 3 m

Q = Caudal = $0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$

v = Velocidad del gas = 1 m/s

g = Gravedad = $9,81 \text{ m/s}^2$

h_L = Pérdida debido a la fricción de la tubería = $27,3 \text{ m}$

Se tiene:

$$D = 0,012 \text{ m}$$

$$D = 0,47 \text{ ''}$$

Por lo que se seleccionará una tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ ''

2.12.5. Selección de las válvulas

Para la selección de las válvulas empleadas en el diseño del gasómetro se toma como referencia el diámetro de la tubería calculada, las mismas que se indican en la **Tabla 47**:

Tabla 47:

Características de las válvulas

Tipo (PVC)	Tamaño	Cantidad
Codos 90 °	½ “	2
Válvula de globo	½ “	3
T estándar	½ “	1

2.12.6. Construcción del prototipo

El diseño y construcción del prototipo fue realizado anteriormente con el objetivo de la producción de biogás, a partir de materia orgánica (estiércol de vaca), el mismo que está compuesto por el digester, filtro de eliminación de H₂S, trampa de condensados, sistema de calentamiento, sistema de recirculación y medidor de gas.

La construcción final de prototipo está conformada por el diseño e implementación del gasómetro con la función principal de almacenar biogás y del sistema de conducción del biogás para el funcionamiento de un generador, como se puede apreciar en la **Figura 37**.

**Figura 37: Esquema general del prototipo**

CAPÍTULO III

3. Análisis de resultados

3.1. Pruebas y resultados

Las primeras pruebas que se realizaron fueron con el objetivo de lograr las condiciones necesarias para lograr el buen funcionamiento del motor generador en condiciones óptimas.

Las pruebas que se efectuaron son medición de voltaje entregada por el moto generador así como el consumo de biogás en el moto generador, como se puede observar en la **Tabla 48**.

Tabla 48:
Pruebas y resultados

PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MOTO GENERADOR			
Volt aje	Carga (W)	Consumo de biogás (lt)	Tiemp o (minut os)
90	6	30	1
110	5	28	1
110	4	26	1
110	2	24	1
130	Sin carga		

Como se puede observar en la **Tabla 48** se concluye que la generación es estable y que se obtiene un voltaje de hasta 130 V sin carga.

El generador cuando trabaja con biogás solo se puede aplicar una carga máxima de 600 W.

El generador no puede trabajar al 100% de su eficiencia ya que existen varios componentes en el biogás así como también el metano está en un porcentaje bajo haciendo que el generador baja su eficiencia.

El consumo del generador con máxima carga es de 28 litros en un minuto.

CAPÍTULO IV

4. Análisis económico

4.1. Costos de construcción y operación.

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

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.

4.2. Opción 1 – determinación de los costos de construcción.

La determinación de costos es cuantificar el capital total de inversión en el sistema, teniendo en consideración los factores tangibles (materia prima) e intangibles (trabajo intelectual y mano de obra) necesarios para su desarrollo.

En términos económicos los costos de construcción están dados en función de tres parámetros: materia prima directa, mano de obra directa y costos indirectos, los mismos que se detallan a continuación:

4.2.1. Materia prima directa (MPD).

Es la inversión realizada en la adquisición de material específicamente para la construcción del sistema:

- a) Costos de materiales para el sistema de conducción y válvula de condensados.
- b) Costos de materiales para filtro de H₂S.

c) Costos de materiales para el tablero de control.

a) **Costos de materiales para el sistema de conducción y válvula de condensados.**

En estos costos están contemplados materiales para la implementación del sistema de conducción, válvula de condensados, generación y presión.

En la **Tabla 49** se muestra sus respectivos costos.

Tabla 49:

Costos de implementación del sistema de conducción.

SISTEMA DE CONDUCCIÓN			
Cant.	Descripción	P. Unitario.	Valor Total
2	Tubería PVC de 2 1/2" de diámetro de 6m	42,50	85,00
4	Codos PVC de 2 1/2"	4,95	19,80
5	Frascos de pegamento	3,50	17,50
Subtotal			122,30
VÁLVULA DE CONDENSADOS			
1	Tanque de Fibra de vidrio de 50 x 80 cm.	500,00	500,00
1	Tubería PVC de 2 1/2" de diámetro de 6m	42,50	42,50
2	Codos PVC de 2 1/2"	4,95	9,90
2	Unión de Estanque de 2 1/2"	8,25	16,5
Subtotal			568,90
GENERADOR A BIOGÁS			
1	Generadora biogás AQL 50	20.000,00	20.000,00
1	Mano de obra de instalación	5 %	1.000,00
1	Transporte	15%	3.000,00
1	Impuestos Importación	10%	2.000,00
1	Transporte terrestre		700
Subtotal			26.700,00
SOPLADOR ATEX			
1	Soplador ATEX de 0,42 KW / 230 V	2.000,00	2.000,00
1	Mano de obra del soplador	5 %	100,00
1	Transporte	15%	300,00
1	Impuestos de Importación	10%	200,00
1	Transporte terrestre		700,00
Subtotal			3.300,00
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN			30.691,2

b) Costos de materiales para el filtro de H₂S.

Estos costos están comprendidos materiales para la implementación del filtro de H₂S con un sistema de calentamiento, así como también el filtro por absorción de H₂S con óxido de hierro. En la **Tabla 50** y **Tabla 51** se muestran sus respectivos costos.

Tabla 50:

Costos de Implementación del Filtro de H₂S opción 1

FILTRO TANQUE GRANDE			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
1	Tanque de Fibra de vidrio redondo de 25 x 91 cm.	500,00	500,00
1	Base de hierro para tanque 30 x 30 x 50 cm.	100,00	100,00
47	Espuma de poliuretano (0,035 m3)	5,00	240,00
2	Aislamiento Térmico (Lana de vidrio)	60,00	120,00
Subtotal			960,00
FILTRO TANQUE PEQUEÑO			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
1	Tanque de 30 x 30 x 50 cm.	70,00	70,00
1	Bomba de recirculación de 45 W GRUNDFOS modelo UPS 25-40-180	303,00	303,00
1	Resistencias de tanque de 2500 W a 220 V Modelo T009	180,00	180,00
4	Unión de Estanque de 1/2"	1,90	7,60
3	Codos PVC de 1/2"	0,50	1,50
1	Tubería PVC de 1/2" de diámetro.	3,98	3,98
Subtotal			566,08
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN			1.526,08

Tabla 51:

Costos de Implementación del Filtro de H₂S opción 2

FILTRO DE H₂S			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
5	Tanque de PVC	50	250,00
1	Base de hierro para tanque 30 x 30 x 50 cm.	200,00	200,00
5	Limalla de hierro	50	250,00
1	Accesorios	600	600,00
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN			1.300,00

c) Costos de materiales del tablero de control.

Estos costos corresponden específicamente a la parte eléctrica, principalmente los componentes ubicados en el tablero de control, los mismos que se detallan a continuación en la **Tabla 52**.

Tabla 52:

Costo de materiales para el tablero de control.

TABLERO DE CONTROL			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
1	Transductor de Temperatura con Termocupla y sensor de humedad	300,00	300,00
1	Pulsadores NO	2,10	2,10
1	Pulsadores NC	2,10	2,10
1	Selector de dos posiciones	2,10	2,10
1	Interruptor de parada	3,00	3,00
2	Luz piloto color verde.	1,80	3,60
1	Luz piloto color rojo	1,80	1,80
1	Caja de Control 30x30x15 cm.	32,50	32,50
1	Contactador de 220 V para 1,5 HP	14,35	14,35
1	Contactador de 220 V para 4 HP	22,50	22,50
1	Relé auxiliar de 220 V para 48 W	8,50	8,50
1	Relé térmico de 1,8 – 2,6Amp	27,53	27,53
10	Metros de Cable # 18 AWG flexible	0,35	3,50
10	Metros Cable # 14AWGx4 conductores	1,45	14,50
10	Metros cable # 18 AWG x 3 conductores	1,20	12,00
10	Metros cable # 12 AWG x 3 conductores	1,58	15,80
1	Breaker de 16 Amp 3 Polos para rioldim	18,90	18,90
1	Breaker de 6 Amp 2 Polos para rioldim	12,22	12,22
53	Metros de Cable # 6 AWG	5,20	275,6
1	Contador de doble sentido	11.500,00	11.500,00
1	Sincronoscopio	1.500,00	1.500,00
1	Protecciones extras	1.000,00	1.000,00
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN		14.772,90	

La inversión total de MPD se detalla a continuación en la **Tabla 53**.

Tabla 53:

Materia Prima Directa.

INVERSIÓN TOTAL MPD	
Tipo de inversión	Monto
Sistema de conducción de biogás.	30.691,20
Filtro para eliminación de H ₂ S.	1.526,08
Tablero de control eléctrico.	14.772,90
TOTAL	46.984,88

4.2.2. 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 46.984,88 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 54**.

Tabla 54:
Mano de Obra Directa.

COSTOS ESPECIALIZADOS				
Mano de Obra	Descripción	Cantidad	% MPD	Monto
TÉCNICA	Jefe de obra	1	10	5.026,38
	Ing. Electromecánico	1	7	3.518,46
	Asesor	1	3	1.507,92
SUB TOTAL				10.052,76
Mano de Obra	Descripción	Cantidad	Precio de trabajo	Monto
NO TÉCNICA	Soldador	1	25	125,50
	Albañil	1	20	100,00
	Electricista		30	150,00
SUB TOTAL				375,50
TOTAL				10.428,26

4.2.3. 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 55**.

Tabla 55:
Costos Indirectos

Tipo de inversión	Total
Materia prima indirecta	500,00
Transporte	100,00
Total	600,00

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 56** se muestra la inversión parcial y total del proyecto.

Tabla 56:
Inversión Total.

General	Descripción Específica	Inversión	% INV	Inversión total	% INV Total
Materia Prima Directa	Sistema de conducción	30.691,20	65,32	46.984,88	80,99
	Filtro para eliminar H ₂ S	1.526,08	3,24		
	Tablero de control	14.772,90	31,44		
Mano de obra directa	Técnica	10.052,76	20,91	10.428,26	17,98
	No técnica	375,00	0,78		
Costos indirectos	Materia prima indirecta	500,00	1,04	600,00	1,03
	Transporte	100,00	0,21		
	TOTAL				

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

4.2.4. Determinación de los costos de operación.

Los costos de operación del generador a 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.

4.2.5. 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 KW-h es de 0,12 USD, en la **Tabla 57** se detallan los costos.

Tabla 57:

Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento

Equipos	Potencia (KW)	Tiempo operación (horas)	Total (KWh)	Costo Mensual	Costo Anual
Soplador	0,42	24	10,08	36,29	435,46
Bomba de recirculación de agua	0,47	18	8,46	30,46	365,47
Calentadores de Resistencias	2,5	18	45	162,00	1.944,00
TOTAL				112,76	2.744,93

4.2.6. Costos mano de obra de operadores

Este costo se refiere al salario de los dos operadores encargados del funcionamiento del sistema de generación, así como costos del aporte al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldo, según el código laboral ecuatoriano, en el 2015 se considera el salario básico de 354,00 UDS como se muestra en la **Tabla 58**.

Tabla 58:

Costos mano de obra de operadores

Operador	Aporte patronal IESS (11,15%)	Salario (Anual)	Décimo tercero	Décimo cuarto	Sueldo Anual
1	39,47	3.774,36	354,00	354,00	4.482,36
1	39,47	3.774,36	354,00	354,00	4.482,36
TOTAL					8.964,72

Los costos totales de operación se detallan en la **Tabla 59**

Tabla 59:

Costos de operación

Tipo de Costos	Total
Energía eléctrica para autoabastecimiento	2.744,93
Mano de obra de operadores	8.964,72
Total Anual	11.709,65

4.2.7. Calculo del ingreso total opcion 1

Considerando la potencia de 12 KW que suministra el generador y el precio de cada KWh está en un valor de 0,12 centavos de dólar, se calculará el valor total de ingreso como se muestra en la **Tabla 60**.

Tabla 60:

Ingreso Total

KW	Tiempo de Operación	Ingresos
12	Diario	34,56
	Mensual	1.036,8
	Anual	12.441,6

4.2.8. 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 61**.

Tabla 61:

Inversión total para un año proyectado.

Descripción	Total
Inversión total del proyecto	58.013,14
Inversión costos de operación	11.709,65
INVERSIÓN TOTAL	69.722,79

La tasa de interés para el producto empresarial es de 10,21% y viene dado por el BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ver **Tabla 62**.

Tabla 62:


Tasa de interés activas efectivas vigentes.

Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual		
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		
Consumo Ordinario	16.30		
Consumo Prioritario	16.30		
Educativo	9.00		
Inmobiliario	11.33		
Vivienda de Interés Público	4.99		
Microcrédito Minorista	30.50		
Microcrédito de Acumulación Simple	27.50		
Microcrédito de Acumulación Ampliada	25.50		
Inversión Pública	9.33		
2. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS PROMEDIO POR INSTRUMENTO			
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Depósitos a plazo	5.55	Depósitos de Ahorro	1.3
Depósitos monetarios	0.65	Depósitos de Tarjetahabientes	1.25

Fuente: [26]

La amortización es la reducción parcial de los montos de una deuda en un plazo determinado de tiempo. Considerando la inversión inicial de 58.013,14 \$, y un interés de producto empresarial de 10,21 % anual las cuotas a pagar se observa en la **Tabla 63**.

Tabla 63:**Amortización de préstamos**

 CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS					
importe	58.013,14		PAGOS TOTALES		
años	5		PRINCIPAL	58.013,14	
comisión de apertura	0,00%		INTERESES	17.769,42	
interés nominal	10,21%		COMISIÓN	0,00	
periodo de pago	1		TOTAL	75.782,56	
tipo amortización	2				
cuotas constantes					
coste efectivo		10,21%			
años	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente
0					58.013,14
1	17.525,77	5.923,14	11602,63	11.602,63	46.410,51
2	16.341,14	4.738,51	11602,63	23.205,26	34.807,88
3	15.156,51	3.553,88	11602,63	34.807,88	23.205,26
4	13.971,88	2.369,26	11602,63	46.410,51	11.602,63
5	12.787,26	1.184,63	11602,63	58.013,14	0,00

En una hoja de cálculos de Excel se elaboró los flujos de caja como se observa en la **Tabla 64**.

Tabla 64:**Flujo de caja**

RUBROS	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS:	(58.013,14)					
ENERGIA GENERADA BIOGAS		11.197,44	11.197,44	11.197,44	11.197,44	11.197,44
EGRESOS:						
INTERES PRÉSTAMO (10,21%)		(5.923,12)	(4.738,51)	(3.553,88)	(2.369,26)	(1.184,63)
AMORTIZACIÓN DEUDA		(11.602,63)	(11.602,63)	(11.602,63)	(11.602,63)	(11.602,63)
COSTO DE OPERACIÓN		(11.709,65)	(11.709,65)	(11.709,65)	(11.709,65)	(11.709,65)
FLUJO DE CAJA	(58.013,14)	(18.037,96)	(16.853,35)	(15.668,72)	(14.484,10)	(13.299,47)

4.2.9. Cálculo del VAN, TIR, tiempo de recuperación.

Según datos del Banco Central del Ecuador, 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.

4.2.10. 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 **Ec. 18**:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{1 + k^t} - l_0$$

Ec. 18

Dónde:

V_t= Flujos de caja en cada periodo t.

k = Tasa de interés.

l₀= Inversión inicial.

t = Periodo en años.

De la **Tabla 64** se tiene:

$$VAN = 2.759,86$$

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

4.2.11. 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 **Ec. 19**:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{1 + TIR^t} - l_0 = 0$$

Ec. 19

De la **Tabla 65** se tiene:

$$TIR = 8,21 \% \text{ Anual}$$

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

4.2.12. Tiempo de recuperación de la inversión (TR).

El tiempo de recuperación de la inversión se determina a partir de la fórmula de inversión estadística **Ec. 20**:

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

Ec. 20

Dónde:

A = Ganancia mensual.

i = Tasa de interés mensual.

Io = Inversión inicial.

n = Número de meses de recuperación de la inversión.

De la **Ec. 20** anterior se despeja n:

$$TR = n = - \frac{\ln \frac{A - l_0 i}{A}}{\ln 1 + i}$$

De la **Tabla 65** se tiene:

$$TR = 46 \text{ Meses}$$

Este resultado indica que el capital invertido en el sistema de conducción se recupera en un tiempo de 46 meses (3 años 10 mes), lo que indica que es rentable la inversión en el sistema de conducción. Teniendo en cuenta que a partir de los 46 meses se tendrá una ganancia de 731,95 anuales.

Tabla 65::

Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.

Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación	
Tasa de descuento (anual)	10,21 %
Ahorro mensual:	1.536,80
Ahorro anual:	12.441,60
Inversión inicial:	58.013,14
Periodo años	
	Flujo de fondos anuales
0	-58.013,14
1	16.793,80
2	15.609,19
3	14.424,56
4	13.239,94
5	12.055,31
Valor actual neto (VAN):	2759,86
Tasa interna de retorno (TIR):	8,21% anual
Tiempo de recuperación (TR):	46 Meses

4.3. Opción 2 – determinación de los costos de construcción.

La determinación de costos es cuantificar el capital total de inversión en el sistema, teniendo en consideración los factores tangibles (materia prima) e intangibles (trabajo intelectual y mano de obra) necesarios para su desarrollo.

En términos económicos los costos de construcción están dados en función de tres parámetros: materia prima directa, mano de obra directa y costos indirectos, los mismos que se detallan a continuación:

4.3.1. Materia prima directa (MPD).

Es la inversión realizada en la adquisición de material específicamente para la construcción del sistema:

a) Costos de materiales para el sistema de conducción y válvula de condensados.

En estos costos están contemplados materiales para la implementación del sistema de conducción, válvula de condensados, generación y presión.

En la **Tabla 66** se muestra sus respectivos costos.

Tabla 66:

Costos de implementación del sistema de conducción.

SISTEMA DE CONDUCCIÓN					
Cant.	Descripción		P. Unitario.	Valor Total	
2	Tubería PVC de	2 1/2" de	42,50	85,00	
	diámetro de 6m				
4	Codos PVC de 2 1/2"		4,95	19,80	
5	Fracos de pegamento		3,50	17,50	
			Subtotal	122,30	

CONTINÚA 

VÁLVULA DE CONDENSADOS			
1	Tanque de Fibra de vidrio de 50 x 80 cm.	500,00	500,00
1	Tubería PVC de 2 1/2" de diámetro de 6m	42,50	42,50
2	Codos PVC de 2 1/2"	4,95	9,90
2	Unión de Estanque de 2 1/2"	8,25	16,5
Subtotal			568,90
GENERADOR A BIOGÁS			
1	Generadora biogás AQL 50	23.500,00	23.500,00
1	Mano de obra de instalación	5 %	1.175,00
1	Transporte	15%	3.525,00
1	Impuestos Importación	10%	2.350,00
1	Transporte terrestre		700,00
Subtotal			31.250,00
SOPLADOR ATEX			
1	Soplador ATEX de 0,42 KW / 230 V	2.000,00	2.000,00
1	Mano de obra del soplador	5 %	100,00
1	Transporte	15%	300,00
1	Impuestos de Importación	10%	200,00
1	Transporte terrestre		700,00
Subtotal			3.300,00
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN			35.241,20

b) Costos de materiales para el filtro de H₂S.

Estos costos están comprendidos materiales para la implementación del filtro de H₂S con un sistema de calentamiento, así como también el filtro por absorción de H₂S con óxido de hierro. En la **Tabla 67** y **Tabla 68** se muestran sus respectivos costos.

Tabla 67:

Costos de Implementación del Filtro de H₂S opción 1

FILTRO TANQUE GRANDE			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
1	Tanque de Fibra de vidrio redondo de 25 x 91 cm.	500,00	500,00
1	Base de hierro para tanque 30 x 30 x 50 cm.	100,00	100,00
47	Espuma de poliuretano (0,035 m3)	5,00	240,00
2	Aislamiento Térmico (Lana de vidrio)	60,00	120,00
Subtotal			960,00
FILTRO TANQUE PEQUEÑO			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
1	Tanque de 30 x 30 x 50 cm.	70,00	70,00
1	Bomba de recirculación de 45 W GRUNDFOS modelo UPS 25-40-180	303,00	303,00
1	Resistencias de tanque de 2500 W a 220 V Modelo T009	180,00	180,00
4	Unión de Estanque de 1/2"	1,90	7,60
3	Codos PVC de 1/2"	0,50	1,50
1	Tubería PVC de 1/2" de diámetro.	3,98	3,98
Subtotal			566,08
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN			1.526,08

Tabla 68:

Costos de Implementación del Filtro de H₂S opción 2

FILTRO DE H₂S			
Cant.	Descripción	P. Unitario	Total
5	Tanque de PVC	50,00	250,00
1	Base de hierro para tanque 30 x 30 x 50 cm.	200,00	200,00
5	Limalla de hierro	50,00	250,00
1	Accesorios	600,00	600,00
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN			1.300,00

c) Costos de materiales del tablero de control.

Estos costos corresponden específicamente a la parte eléctrica, principalmente los componentes ubicados en el tablero de control, los mismos que se detallan a continuación en la **Tabla 69**.

Tabla 69:

Costo de materiales para el tablero de control.

TABLERO DE CONTROL			
Can t.	Descripción	P. Unitario	Total
1	Transductor de Temperatura con Termocupla y sensor de humedad	300,00	300,00
1	Pulsadores NO	2,10	2,10
1	Pulsadores NC	2,10	2,10
1	Selector de dos posiciones	2,10	2,10
1	Interruptor de parada	3,00	3,00
2	Luz piloto color verde.	1,80	3,60
1	Luz piloto color rojo	1,80	1,80
1	Caja de Control 30x30x15 cm.	32,50	32,50
1	Contactor de 220 V para 1,5 HP	14,35	14,35
1	Contactor de 220 V para 4 HP	22,50	22,50
1	Relé auxiliar de 220 V para 48 W	8,50	8,50
1	Relé térmico de 1,8 – 2,6Amp	27,53	27,53
10	Metros de Cable # 18 AWG flexible	0,35	3,50
10	Metros Cable # 14AWGx4 conductores	1,45	14,50
10	Metros cable # 18 AWG x 3 conductores	1,20	12,00
10	Metros cable # 12 AWG x 3 conductores	1,58	15,80
1	Breaker de 16 Amp 3 Polos para rioldim	18,90	18,90
1	Breaker de 6 Amp 2 Polos para rioldim	12,22	12,22
80	Metros de Cable # 6 AWG	5,20	420,00
1	Contador de doble sentido	11.500,00	11.500,00
1	Sincronoscopio	1.500,00	1.500,00
1	Protecciones extras	1.000,00	1.000,00
COSTO TOTAL DE IMPLEMENTACIÓN		14.772,90	

La inversión total de MPD se detalla a continuación en la **Tabla 70**.

Tabla 70:

Materia Prima Directa.

INVERSIÓN TOTAL MPD	
Tipo de inversión	Monto
Sistema de conducción de biogás.	35.241,20
Filtro para eliminación de H ₂ S.	1.526,08
Tablero de control eléctrico.	14.772,90
TOTAL	51.540,18

4.3.2. 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 51.540,18 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 71**.

Tabla 71:

Mano de Obra Directa.

COSTOS ESPECIALIZADOS				
Mano de Obra	Descripción	Cantidad	% MPD	Monto
TÉCNICA	Jefe de obra	1	10	5.154,02
	Ing. Electromecánico	1	7	3.607,81
	Asesor	1	3	1.546,20
SUB TOTAL				10.308,03
Mano de Obra	Descripción	Cantidad	Subtotal	Monto
NO TÉCNICA	Soldador	1	25	125,00
	Albañil	1	20	100,00
	Electricista		30	150,00
SUB TOTAL				375,00
TOTAL				10.683,03

4.3.3. 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 72**.

Tabla 72:

Costos Indirectos

Tipo de inversión	Total
Materia prima indirecta	500,00
Transporte	100,00
Total	600,00

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 73** se muestra la inversión parcial y total del proyecto.

Tabla 73:
Inversión Total.

General	Descripción Específica	Inversión	% INV	Inversión total	% INV Total
Materia Prima Directa	Sistema de conducción	35.241,20	68,38	51.540,18	82,04
	Filtro para eliminar H ₂ S	1.526,08	2,96		
	Tablero de control	14.772,90	28,66		
Mano de obra directa	Técnica	10.308,03	96,49	10.683,03	17,00
	No técnica	375,00	3,51		
Costos indirectos	Materia prima indirecta	500,00	83,33	600,00	0,96
	Transporte	100,00	16,66		
TOTAL				62.823,21	100

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

4.3.4. Determinación de los costos de operación.

Los costos de operación del generador a 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.

4.3.5. 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 KW-h es de 0,12 USD, en la **Tabla 74** se detallan los costos.

Tabla 74:

Costos de energía eléctrica para autoabastecimiento

Equipos	Potencia (kW)	Tiempo operación (horas)	Total (kWh)	Costo Mensual	Costo Anual
Soplador	0,42	24	10,08	36,29	435,46
Bomba de recirculación de agua	0,47	18	8,46	30,46	365,47
Calentadores de Resistencias	2,5	18	45	162,00	1.944,00
TOTAL				112,76	2.744,93

4.3.6. Costos mano de obra de operadores

Este costo se refiere al salario de los dos operadores encargados del funcionamiento del sistema de generación, así como costos del aporte al IESS, décimo tercero y décimo cuarto sueldo, según el código laboral ecuatoriano, en el 2015 se considera el salario básico de 354,00 UDS como se muestra en la **Tabla 75**.

Tabla 75:

Costos mano de obra de operadores

Operador	Aporte patronal IESS (11,15%)	Salario (Anual)	Décimo tercero	Décimo cuarto	Sueldo Anual
1	39,47	3.774,36	354,00	354,00	4.482,36
1	39,47	3.774,36	354,00	354,00	4.482,36
TOTAL					8.964,72

Los costos totales de operación se detallan en la **Tabla 76**

Tabla 76:

Costos de operación

Tipo de Costos	Total
Energía eléctrica para autoabastecimiento	2.744,93
Mano de obra de operadores	8.964,72
Total Anual	11.709,65

4.3.7. Calculo del ingreso total

Considerando la potencia de 36 KW que suministra el generador y el precio de cada kWh está en un valor de 0,12 centavos de dólar, se calculará el valor total de ingreso como se muestra en la **Tabla 77**.

Tabla 77:

Ingreso Total

Kw	Tiempo de Operación	Ingresos
36	Diario	93,31
	Mensual	2.799,36
	Anual	35.592,32

4.3.8. 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 78**.

Tabla 78:
Inversión total para un año proyectado.

Descripción	Total
Inversión total del proyecto	62.823,21
Inversión costos de operación	11.709,65
INVERSIÓN TOTAL	74.532,86

La tasa de interés para el producto empresarial es de 10,21% y viene dado por el BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, ver **Tabla 79**


Tabla 79:
Tasa de interés activas efectivas vigentes.

Tasas de Interés			
agosto-2015			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES			
Tasas Máximas			
Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual		
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		
Consumo Ordinario	16.30		
Consumo Prioritario	16.30		
Educativo	9.00		
Inmobiliario	11.33		
Vivienda de Interés Público	4.99		
Microcrédito Minorista	30.50		
Microcrédito de Acumulación Simple	27.50		
Microcrédito de Acumulación Ampliada	25.50		
Inversión Pública	9.33		
2. TASAS DE INTERÉS PASIVAS EFECTIVAS PROMEDIO POR INSTRUMENTO			
Tasas Referenciales	% anual	Tasas Referenciales	% anual
Depósitos a plazo	5.55	Depósitos de Ahorro	1.3
Depósitos monetarios	0.65	Depósitos de Tarjetahabientes	1.25

Fuente: [26]

La amortización es la reducción parcial de los montos de una deuda en un plazo determinado de tiempo. Considerando la inversión inicial de 62.823,21 \$, y un interés de producto empresarial de 10,21 % anual las cuotas a pagar se observa en la **Tabla 80**.

Tabla 80:
Amortización de préstamos

 CUADRO DE AMORTIZACIÓN DE PRÉSTAMOS					
importe	62.823,21	PAGOS TOTALES			
años	5	PRINCIPAL	62.823,21		
comisión de apertura	0,00%	INTERESES	19.242,75		
interés nominal	10,21%	COMISIÓN	0,00		
periodo de pago	1	TOTAL	82.065,96		
tipo amortización	2				
cuotas constantes					
coste efectivo		10,21%			
años	cuota	intereses	amortización	amortizado	pendiente
0					62.823,21
1	18.978,89	6.414,25	12564,64	12.564,64	50.258,57
2	17.696,04	5.131,40	12564,64	25.129,28	37.693,93
3	16.413,19	3.848,55	12564,64	37.693,93	25.129,28
4	15.130,34	2.565,70	12564,64	50.258,57	12.564,64
5	13.847,49	1.282,85	12564,64	62.823,21	0,00

En una hoja de cálculos de Excel se elaboró los flujos de caja como se observa en la **Tabla 81**.

Tabla 81:
Flujo de caja

RUBROS	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
INGRESOS:	(62.823,21)					
ENERGIA GENERADA BIOGAS		35.592,32	35.592,32	35.592,32	35.592,32	35.592,32
EGRESOS:						
INTERES PRÉSTAMO (10,21%)		(6.414,25)	(5.131,40)	(3.848,55)	(2.585,70)	(1.202,05)
AMORTIZACIÓN DEUDA		(12.584,54)	(12.584,54)	(12.584,54)	(12.584,54)	(12.584,54)
COSTO DE OPERACIÓN		(11.709,65)	(11.709,65)	(11.709,65)	(11.709,65)	(11.709,65)
FLUJO DE CAJA	(62.823,21)	4.883,88	6.166,73	7.449,58	8.712,43	10.096,08

4.3.9. Cálculo del VAN, TIR, tiempo de recuperación.

Según datos del Banco Central del Ecuador, 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.

4.3.10. 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.

De la **Tabla 82** se tiene:

$$VAN = 35.634,81$$

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

4.3.11. 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 ($VAN = 0$).

De la **Tabla 82** se tiene:

$$TIR = 13,89 \% \text{ Anual}$$

4.3.12. Tiempo de recuperación de la inversión (TR).

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

De la **Tabla 82** se tiene:

$$TR = 25 \text{ Meses}$$

Este resultado indica que el capital invertido en el sistema de conducción se recupera en un tiempo de 25 meses (2 años 1 mes), lo que indica que es rentable la inversión en el sistema de conducción. Teniendo en cuenta que a partir de los 25 meses se tendrá una ganancia de 1.293,44 mensuales.

Tabla 82:

Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación.

Cálculo del VAN, TIR y Tiempo de recuperación	
Tasa de descuento (anual)	10,21 %
Ahorro mensual:	2.799,36
Ahorro anual:	35.592,32
Inversión inicial:	62.823,21
Periodo años	
Flujo de fondos anuales	
0	-62.823,21
1	4.883,88
2	6.166,73
3	7.449,58
4	8.712,43
5	10.096,08
Valor actual neto (VAN):	35.634,81
Tasa interna de retorno (TIR):	13,89% anual
Tiempo de recuperación (TR):	25 Meses

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- AQUALIMPIA es la fuente mas amplia y confiable para el diseño del sistema de conducción de biogás para generar energía eléctrica en la hacienda San Francisco.
- Con la bitácora de producción de biogás se tiene el dato promedio de producción actual de biogás de 23 m³/h en el biodigestor.
- El método de biofiltración purifica el biogás en un 97% con una vida útil del biofiltro de 2 años, mientras que con el método de adsorción por limalla de hierro se tiene una purificación del 56 % con una vida útil de un año tomando en cuenta para volúmenes pequeños.
- Con el diseño realizado para el sistema de conducción de biogás para la generación de energía eléctrica se tiene una unidad de generación de 12 kw y se estima lograr una recuperación de la inversión en 3 años 10 meses para la opción 1 así como para la opción 2 se tiene una unidad de generación de 36 kW y se recupera la inversión en 2 años 1 mes.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Buscar otras fuentes bibliográficas para poder ampliar de mejor manera la información recopilada y así poder realizar diseños con nuevas fuentes de energía.
- Realizar cronogramas de mantenimiento e inspecciones y poder garantizar un óptimo funcionamiento del digestor para obtener más energía y poder autoabastecer a la Hacienda.
- Para reducir costos en la implementación del filtro de H₂S se puede implementar el filtro por absorción con óxido de hierro el cual nos entrega una purificación del 56% con un costo reducido, pero solo es rentable en volúmenes pequeños.
- Utilizar equipos antiexplosivos ya que el biogás contiene un porcentaje elevado de metano convirtiéndole en un biocombustible altamente explosivo al momento de su utilización.
- Una vez puesto en operación el prototipo para la generación de biogás se lo debe mantener en continuo funcionamiento es decir se debe cargar diariamente con el peso correcto y controlar los parámetros necesarios para que la producción de biogás sea estable.
- Implementar un laboratorio de energías renovables para un mejor desarrollo de energías alternativas en la carrera de Ingeniería Electromecánica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. G. M. Romero, Dimensionamiento y Diseño y Construcción de Biodigestores y Plantas de Biogas, Alemania: Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2011, p. 352.
- [2] V. Mañanes, «Funcionamiento de una planta de biogás,» Dalander, 2010. [En línea]. Available: www.eren.jcyl.es/Bloque%20II%20Plantas%20de%20biogas%200. [Último acceso: 12 05 2013].
- [3] Biomass Users Network,, «Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass,» 2002. [En línea]. Available: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/\\$FILE/Manuales_sobre_energ%C3%ADa_renovableBIOMASA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/5EA2E564AF6F41D405257CC1005B2354/$FILE/Manuales_sobre_energ%C3%ADa_renovableBIOMASA.pdf). [Último acceso: 17 06 2013].
- [4] «ISAT,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.biores.eu/docs/BIOGASFUNDAMENTALS/biogasdigestvol1.pdf>. [Último acceso: 6 11 2013].
- [5] P. I. Chávez, «Diseño de Biodigestores,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.engormix.com/>. [Último acceso: 19 08 2014].
- [6] E. d. C. R. Tecnológica, Diseño y Construcción de Biodigestores, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2008.
- [7] G. Aroca, «Comparison on the removal of hydrogen sulfide in biotrickling filters inoculated with Thiobacillus thioparus and Acidithiobacillus thiooxidans,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.scielo.cl/pdf/ejb/v10n4/a05.pdf>. [Último acceso: 13 07 2013].
- [8] M. R. Muños, Estudio y puesta en marcha de un sistema de eliminación de ácido sulfhídrico en una corriente de aire,

mediante un biofiltro de escurrimiento con Thiobacillus thioparus inmovilizado en espuma de poliuretano, Mexico D.F., :2006.

- [9] M. D. Piñón, «Miembro del Grupo Provincial de Biogás de Las Tunas,» [En línea]. Available: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia41/HTML/Articulo05.htm/>. [Último acceso: 23 Marzo 2015].
- [10] M. R. Muñoz, «Vialidad de un Proceso para la Eliminación Conjunta de H₂S y NH₃ Contenido en Efluente Gaseoso,» 2007. [En línea]. Available: <http://minerva.uca.es/publicaciones/asp/tesis/ramirezmunoz.pdf>. [Último acceso: 12 08 2013].
- [11] ENNOX, «Ennox biogas technology GmbH,» [En línea]. Available: http://www.ennox.at/medien/datasheets/de/reinigen/ennox_biogas_technology_Kondensattopf_COP.pdf. [Último acceso: 12 08 2013].
- [12] Aqualimpia, «Tren de Calibracion,» [En línea]. Available: <http://www.aqualimpia.com/PDF/Tren-de-calibracion.pdf>. [Último acceso: 10 11 2013].
- [13] Aqualimpia Engineering, Seitenkanalverdichter, Druck-und Vakuumbetrieb, Side channel blowers and exhausters, Turbinas de canal lateral y aspiradores, Alemania, 2002.
- [14] M. International, «Sopladores Atex,» 05 06 2010. [En línea]. Available: <http://www.atex-blowers.com/>. [Último acceso: 12 06 2014].
- [15] R. Mott, Mecánica de Fluidos, Mexico D.F., :2006.
- [16] Aqualimpia Engineering, «Biodigestor San Francisco Agrogana,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.aqualimpia.com/PDF/BD-San-Francisco.pdf>. [Último acceso: 12 03 2014].

- [17] AQUALIMPIA, «GENERADORES A BIOGAS,» AQLgenset, 01 06 2010. [En línea]. Available: http://www.aqualimpia.com/Generadores_biogas.htm. [Último acceso: 13 07 2014].
- [18] A. J. P. Sandoya, Acondicionamiento de un motor a diésel con biogás como sustituto de combustible fósil para el funcionamiento de una bomba de riego en la Hacienda San Francisco, Latacunga: ESPE, 2015.
- [19] V. M. Z. Ibujés, Auditoría energética de la hacienda San Francisco para uso de un generador a biogás como sustituto parcial de energía, Latacunga: ESPE, 2014.
- [20] Aqualimpia, «Reduccion de H2S,» Aqualimpia Engineering, 2010. [En línea]. Available: http://www.aqualimpia.com/Filtros_H2S.htm. [Último acceso: 12 10 2013].
- [21] L. Carrillo, «Vida y muerte de los microorganismos,» *Microbiología Agrícola*, p. 20, 2003.
- [22] P. Etcharren, Diseño de un sistema de biofiltracion para la eliminacion de la fabrica " Lubascher y Krausse", Temuco, Chile, 2005.
- [23] Y. A. Cengel, Termodinamica, Mexico, 2011.
- [24] GRUNDFOS, GRUNDFOS CATÁLOGO CALEFACCIÓN, Madrid, 2012.
- [25] L. G. LT87302, Instruction Manua lGenerator.
- [26] B. C. d. Ecuador, «Tasas de interes,» 1 08 2015. [En línea]. Available: <http://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>. [Último acceso: 15 08 2015].
- [27] L. D. R. RODRÍGUEZ, 2004. [En línea]. Available:

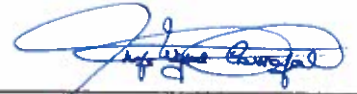
<http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0426t.pdf>. [Último
acceso: Enero 2014].

ANEXOS


**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

CERTIFICACIÓN.

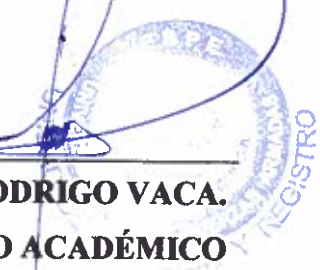

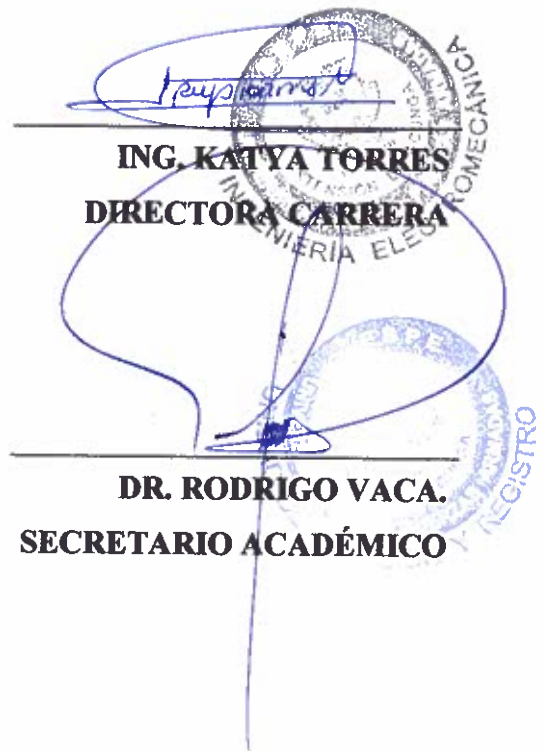
Se certifica que el presente trabajo fue realizado por la señora Sandra Marisol Iza Chiluisa bajo mi supervisión.



**ING. MIGUEL CARVAJAL
DIRECTOR**



**ING. PABLO MENA
CODIRECTOR**



**ING. KATYA TORRES
DIRECTORA CARRERA**

**DR. RODRIGO VACA.
SECRETARIO ACADÉMICO**