



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU
CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE
BIODIGESTORES**

Gabriel Fong Mazariegos

Asesorado por el Ing. Francisco Javier González López

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU
CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE
BIODIGESTORES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GABRIEL FONG MAZARIEGOS

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZÁLES LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Saul Cabezas Durán
EXAMINADOR	Ing. Nathanael Jonathan Requena Gómez
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE BIODIGESTORES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 14 de octubre de 2013.



Gabriel Fong Mazariegos

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 75. 2018.
3 DE OCTUBRE 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA
BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU
CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO
POR MEDIO DE BIODIGESTORES,** del estudiante;
Gabriel Fong Mazariegos, que cumple con los requisitos establecidos
para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

M.B.A. Ing. Saul Cabezas Durán
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 4648


Ing. Saul Cabezas Durán
Coordinador de Potencia



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 16 de octubre de 2018.
Ref.EPS.DOC.854.10.18.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Gabriel Fong Mazariegos** de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, Registro Académico No. **199219813** y CUI **1757 18164 0544**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE BIODIGESTORES"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Francisco Javier González López
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Eléctrica



c.c. Archivo
FIGL/ra

Edificio de EPS, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.
Teléfono directo: 2442-3509

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala 16 de octubre de 2018.

Ref.EPS.D.403.10.18.

Ing. Otto Fernando Andrino González
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Andrino González:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE BIODIGESTORES" que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Gabriel Fong Mazariegos**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Francisco Javier González López.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. *Christa Classon de Pinto*
Directora Unidad de EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS



CCdP/ra

Edificio de EPS, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.

Teléfono directo: 2442-3509

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 75. 2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: GABRIEL FONG MAZARIEGOS titulado: ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE BIODIGESTORES, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 15 DE OCTUBRE 2018.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 061.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LA BASURA ORGÁNICA Y LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA DEPARTAMENTAL DE JUTIAPA MEDIANTE SU CONVERSIÓN EN ENERGÍA ELÉCTRICA Y FERTIRIEGO POR MEDIO DE BIODIGESTORES**, presentado por el estudiante universitario: **Gabriel Fong Mazariegos**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, febrero de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Porque Él emana vida, sabiduría y la inteligencia.
- Mis padres** Gabriel Fong Pineda y Carmen Ileana Mazariegos Nájera, hoy les entrego la prueba de que sus esfuerzos dieron fruto, gracias por apoyar mi sueño, los amo con todo mi corazón, jamás tendré como pagarles pero les prometo que honraré con mi trabajo, honestidad e integridad mi vida profesional y el apellido que me han heredado.
- Mis esposa** María de los Ángeles Sagastume Sosa, por acompañarme en todo momento, dándome ánimo y consuelo para llegar a este día tan especial. Te amo.
- Mis hijas** Linda María, Elda María, Ester María y Carmen María Fong Sagastume, como un ejemplo al desarrollo de su vida profesional, espero celebrar sus triunfo. Las amo..

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme ser parte de la gran familia de profesionales, que con su trabajo honrado y capaz contribuyen a ser de Guatemala una gran Nación.
Facultad de Ingeniería	Por albergarme en sus aulas y permitir cumplir uno de mis grandes sueños.
Municipalidad de la cabecera Departamental de Jutiapa	Al señor Alcalde y corporación municipal, por la oportunidad y apoyo al desarrollar mi Ejercicio Profesional Supervisado.
Lic. Fredy Mayorga Beza	Hermano gracias por bendecir mi vida, jamás olvidaré el día que me llamaste para iniciar un sueño y me diste la oportunidad de ser parte de él, Dios te bendiga siempre tu vida y la de Jessica, Faby, Frida y José Fabian Mayorga Cruz, los amo.
Colegio San Carlos, Palín	Estimada Familia Herrera-Chacón-Rivas, por enseñarme mis primeras letras y formarme dentro de sus aulas, jamás olvidaré su gran labor a tan noble profesión, los llevo en mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Información general de la cabecera departamental.	1
1.2. Información general de la institución.....	2
1.2.1. Misión de la institución	5
1.2.2. Visión de la institución.....	5
1.2.3. Servicio que presta	5
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	7
2.1. Informe de la disposición de los desechos sólidos orgánicos y aguas residuales generadas	7
2.1.1. Desechos sólidos orgánicos.....	8
2.1.2. Aguas residuales	11
2.2. Análisis y cuantificación de los desechos sólidos y aguas residuales generados	14
2.2.1. Desechos sólidos	15
2.2.2. Aguas residuales	17
2.3. Diseño biodigestor para la producción de biogás.....	19
2.3.1. Componentes y dimensionamiento de la planta de tratamiento	20

2.3.1.1.	Caja de demasilla	20
2.3.1.2.	Canal de rejas y desarenador	21
2.3.1.3.	Tubos de emergencia	22
2.3.1.4.	Tanque de captación	22
2.3.15.	Bomba para sólidos	22
2.3.1.6.	Trituradora o picadora	23
2.3.1.7.	Biodigestor.....	23
2.3.1.8.	Caseta de bombas para recirculación y extracción de lodos ...	24
2.3.1.9	Canales pluviales.....	25
2.3.2.	Clarificador	25
2.3.3.	Clorador	25
2.3.4.	Laguna secundaria	26
2.3.5.	Procesamiento de lodos	26
2.3.6.	Áreas complementarias	27
2.3.7.	Generación de energía eléctrica.....	27
2.3.8.	Memoria de cálculo y diseño de unidades de tratamiento	27
2.3.8.1.	Ubicación.....	29
2.3.8.2.	Características del terreno.....	29
2.3.8.3.	Características del agua residual y desechos sólidos	31
2.3.8.4.	Caudal	31
2.3.8.5.	Características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua	31
2.3.8.6.	Procedencia de los desechos orgánicos	32

2.3.8.7.	Especificaciones de los desechos orgánicos en términos de la DBO y la DQO.....	32
2.3.8.8.	Caja de demasías	33
2.3.8.9.	Canal de ingreso	34
2.3.8.10.	Para las rejas	35
2.3.8.11.	Para el canal desarenador	36
2.3.8.12.	Descarga de desechos sólidos orgánicos	37
2.3.8.13.	Tanque de captación.....	38
2.3.8.14.	Biodigestor	39
2.3.8.15.	Clarificador	41
2.3.8.16.	Clorador	41
2.3.8.17.	Tanque de contacto.....	42
2.3.8.18.	Laguna secundaria.....	43
2.3.8.19.	Toma para fertirriego.....	43
2.3.8.20.	Operación	44
2.3.8.21.	Referencias técnicas de cálculo	44
2.3.8.22.	Diagrama de flujo	44
2.4.	Cantidad de biogás producido en mts ³ /día.....	46
2.5.	Costos de operación y mantenimiento planta de tratamiento..	48
2.6.	Selección del motogenerador	51
2.6.1.	Motogeneradores JENBACHER	52
2.6.2.	Motogeneradores MAN	53
2.6.3.	Tipo de motor de combustión interna a utilizar	55
2.6.4.	Tipo de generador eléctrico a acoplar	56
2.6.5.	Equipos auxiliares a utilizar	58
2.6.5.1.	Sistema de trampeo de agua	59
2.6.5.2.	Soplador regenerativo.....	61

2.6.6.	Costo de mantenimiento y operación del motogenerador y los equipos auxiliares.....	63
2.6.7.	Descripción final, componentes del motogenerador de biogás seleccionado y consideración a tomar para su operación y mantenimiento	64
2.6.7.1.	Estructura del motogenerador.....	64
2.6.7.2.	Servicio preventivo del motor.....	65
2.6.7.3.	Mantenimiento a generador	66
2.6.7.4.	Tablero de bus, operación, limpieza y parámetros de ajustes del equipo	66
2.6.7.5.	Estructura del tablero de bus	68
2.6.7.6.	Parámetros e indicadores de arranque	68
2.6.7.7.	Módulo de Control 8610 DEEP SEA ...	69
2.6.7.8.	Secuencia de arranque manual	70
2.6.7.9.	Paro de emergencia	71
2.6.7.10.	Mantenimiento a tablero de bus.....	72
2.7.	Circuito eléctrico sistema de generación de energía eléctrica.....	73
2.7.1.	Generador distribuidor renovable	73
2.7.2.	Generación distribuida renovable	74
2.7.3.	Generador distribuido renovable.....	74
2.7.3.1.	Tecnologías clasificadas como GDR ..	74
2.7.3.2.	Normativas que deben de atenderse por los GDR	75
2.7.3.3.	Obligaciones del interesado en participar como GDR.....	76
2.7.3.4.	Requerimientos de conexión.....	78
2.7.4.	Especificaciones técnicas de medida	80

2.7.5.	Características generales de los equipos de medida	80
2.7.5.1.	Transformadores de corriente (CT'S) ..	81
2.7.5.2.	Transformadores de potencia (Pt's)	82
2.7.5.3.	Dispositivos de verificación	83
2.7.5.4.	Medidor	84
2.7.6.	Condiciones generales de la instalación de medida	84
2.7.6.1.	Rack o montura de medición	84
2.7.6.2.	Acometida	84
2.7.6.3.	Armario de medida	85
2.7.6.4.	Canalización del rack de medición	86
2.7.6.5.	Conexión en media tensión transformadores de corriente (Ct's).....	86
2.7.6.6.	Conexión en media tensión transformadores de voltaje (Pt's)	87
2.7.7.	Protección	87
2.7.7.1.	Corto circuito	87
2.7.7.2.	Pararrayos	87
2.7.7.3.	Tierra física	88
2.7.8.	Documentación	88
2.7.9.	Tablas	89
2.7.10.	Regulación de frecuencia	90
2.8.	Diagrama unifilar conexión gdr al sistema nacional interconectado	90
2.8.1.	Normas de seguridad planta de tratamiento y producción de biogás	91
2.8.1.1.	Tipos de riesgo	91
2.8.1.2.	Situaciones peligrosas	92

2.8.1.3.	Cadena de seguridad	92
2.8.1.4.	Medidas organizacionales de seguridad.....	92
2.8.1.5.	Plan de contingencia y emergencia	92
2.8.1.6.	Protecciones individuales de seguridad.....	92
2.8.1.7.	Medidas de seguridad operacional	92
2.8.1.8.	Protección contra fuegos repentinos...	93
2.8.1.9.	Controles de exposición y protección personal a gases	94
2.8.1.10.	Controles de ingeniería.....	94
2.8.1.11.	Protección respiratoria	95
2.8.1.12.	Equipos para detección de fugas de gases	96
2.8.2.	Normas de seguridad generación de energía eléctrica.....	97
2.8.2.1.	Equipos de protección personal.....	101
2.8.2.2.	Protección de la cabeza.....	102
2.8.2.3.	Gafas con filtro uv	103
2.8.2.4.	Ropa de protección.....	104
2.8.2.4.1.	Escafandra	104
2.8.2.4.2.	Camisa	105
2.8.2.4.3.	Chaqueta corta 32”	106
2.8.2.4.4.	Pantalón de lona.....	106
2.8.2.4.5.	Sobre pantalón	107
2.8.2.4.6.	Polainas.....	108
2.8.2.5.	Mapa de seguridad del motogenerador	108

	2.8.2.6.	Mapa de seguridad de equipos eléctricos	109
3.		EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO A IMPLEMENTAR	111
3.1.		Evaluación financiera para implementación de la planta de tratamiento de basura orgánica y aguas residuales	111
3.2.		Presupuesto implementación	111
	3.2.1.	Determinación del monto en quetzales por energía generada	113
	3.2.2.	Determinación del monto en Quetzales por el cobro de agua tratada, y desechos sólidos orgánicos recibidos	114
	3.2.3.	Cálculo de la depreciación y el valor en libros	115
	3.2.4.	Determinación del flujo de fondos proyectado	116
	3.2.5.	Tasa de rendimiento	119
	3.2.6.	Estimación de los indicadores financieros	119
	3.2.7.	Valor actual neto	119
	3.2.8.	Tasa interna de retorno	122
	3.2.9.	Período de recuperación de la inversión	122
	3.2.10.	Planos del proyecto	123
	3.2.11.	Planta de tratamiento	123
	3.2.12.	Instalación eléctrica generador de energía eléctrica	124
		CONCLUSIONES	125
		RECOMENDACIONES	129
		BIBLIOGRAFÍA	131
		APÉNDICE	133

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la empresa.....	2
2.	Organigrama Municipalidad de Jutiapa	4
3.	Fuerza de trabajo municipal	8
4.	Recolectores ambulantes	9
5.	Recolectores municipales	10
6.	Camiones recolectores de basura.....	10
7.	Puntos de descarga del alcantarillado municipal	12
8.	Puntos de descarga del alcantarillado municipal II	12
9.	Puntos de descarga del alcantarillado municipal III	13
10.	Puntos de descarga del alcantarillado municipal IV.....	13
11.	Proyección toneladas por año desechos sólidos	15
12.	Cantidad de desechos recibido por día total 50,86 toneladas	16
13.	Cantidad de desechos recibidos por semana total 357 toneladas	17
14.	Diagrama de flujo	45
15.	Generador JENBACHER 1 Mw	52
16.	Tren de limpieza de biogás	53
17.	Generador MAN 75 Kw	54
18.	Tren de limpieza de biogás	54
19.	Ejemplo funcionamiento sifón.....	59
20.	Sistema de trapeo agua	60
21.	Filtros deshumidificadores gemelos	60
22.	Selección del modelo de soplador.....	61
23.	Curvas de rendimiento del soplador.....	62

24.	Soplador seleccionado	62
25.	Componentes del generador eléctrico de biogás 250 Kw.	64
26.	Componentes tablero de bus	68
27.	Funciones Módulo control 8610 DEEP SEA	70
28.	Botón de par de emergencia.....	71
29.	Tablero de bus.....	72
30.	Overol y equipo de respiración	94
31.	Medidor portátil del sulfuro de hidrógeno	95
32.	Equipo de protección respiratoria de emergencia	96
33.	Detector de gas metano.....	97
34.	Equipo de protección personal, cascos.....	103
35.	Equipo de protección personal, gas	104
36.	Equipo de protección personal, escafandra	105
37.	Equipo de protección personal, camisa	105
38.	Equipo de protección personal, chaqueta	106
39.	Equipo de protección personal, pantalón	107
40.	Equipo de protección personal, sobrepantalón	107
41.	Equipo de protección personal, polainas	108
42.	Zonas de riesgo, generador 250 Kw.	109
43.	Zona de riesgos, Bus.....	110
44.	Simulación costo energía generada.....	114

TABLAS

I.	Coordenadas geográficas de puntos de monitoreo	14
II.	Medición de caudales en litros por segundo y metros cúbicos por día	18
III.	Medición del caudal máximo y medio	31

IV.	Medición de parámetros DBO y DQO agua residual y desechos sólidos.....	33
V.	Valores de diseño caja demasías.....	34
VI.	Valores de diseño canal de ingreso	34
VII.	Valores de diseño canal de rejas	35
VIII.	Valores de diseño canal desarenador	36
IX.	Valores de diseño área descarga de desechos sólidos	37
X.	Valores de diseño tanque de captación.....	38
XI.	Valores de diseño sistema de bombeo.....	39
XII.	Valores de diseño biodigestor	40
XIII.	Valores de diseño biodigestor II	40
XIV.	Valores de diseño clarificador	41
XV.	Valores de diseño tanque de contacto	42
XVI.	Valores de diseño laguna secundaria.....	43
XVII.	Valores de producción de biogás por tonelada de desecho sólidos.....	46
XVIII.	Producción de biogás por metro cúbico de agua residual	47
XIX.	Composición del biogás % de volumen.....	48
XX.	Frecuencia y costo del mantenimiento planta de tratamiento	49
XXI.	Consumo de energía eléctrica, equipos auxiliares planta de tratamiento	50
XXII.	Simulación consto consumo de energía eléctrica equipos auxiliares planta de tratamiento.....	51
XXIII.	Especificaciones técnicas del motor DOOSAN	55
XXIV.	Especificaciones del generador WEG	56
XXV.	Relación consumo biogás por Kw producido.....	58
XXVI.	Costo mantenimiento generador eléctrico de biogás por año	63
XXVII.	Normas a cumplir tableros de bus	67
XXVIII.	Cuadro con los requerimientos de conexión GDR	79

XXIX.	Tensión primaria nominal (Kv)	82
XXX.	Tensión primaria nominal (Kv) II	83
XXXI.	Código de colores en transformadores de media tensión	89
XXXII.	Valores de fusible para CT y PT	89
XXXIII.	Normas OSHA para trabajo eléctrico	99
XXXIV.	Descripción y monto por implementación del proyecto	112
XXXV.	Ingresos por cobro tratamiento aguas residuales y materia orgánica.....	115
XXXVI.	Depreciación de equipo e infraestructura.....	115
XXXVII.	Valores en libros de los equipos e infraestructura.....	116
XXXVIII.	Costo de operación anuales	116
XXXIX.	Flujo de fondos del primer año de operación cifras en miles de quetzales	117
XL.	Flujo de fondos proyectado a 5 años cifras en miles de quetzales	118
XLI.	Estimación de la tasa de rendimiento	119
XLII.	Cálculo de valor actual neto, VAN, cifras en miles de quetzales	120
XLIII.	Fórmula empleada para el cálculo del VAN, cifras en miles de quetzales	121
XLIV.	Cálculo de la TIR, cifras en miles de quetzales.....	122
XLV.	Cálculo del período de recuperación de la inversión, PRI cifra en miles de quetzales	122

RESUMEN

El presente Informe Profesional Supervisado (EPS), se basa en el estudio de los desechos sólidos orgánicos y de las aguas residuales del tipo ordinario, generados por los habitantes de la cabecera departamental de Jutiapa, con la finalidad de determinar su potencial y aprovechamiento, como biomasa en el proceso de biodigestión, el cual utiliza un biodigestor que se encarga de procesar la materia orgánica presente, tanto en estado sólido, como la contenida en el agua residual del tipo ordinaria.

Con este proceso de tratamiento se espera obtener dos subproductos, los cuales serán reutilizables posteriormente, el primero consiste en la obtención de biogás, un gas compuesto básicamente por metano, dióxido de carbono, y en menor cantidad sulfuro de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, el cual puede usarse como combustible en aplicaciones como: la sustitución del gas propano o LPG, en procesos que así lo requieran, entre los cuales se encuentra, calderas, sistemas de calefacción y estufas de uso doméstico o industrial, también se puede utilizarlo como combustible en el proceso de generación de energía eléctrica, a través de generadores eléctricos accionados por motores de combustión interna, este gas sustituye al combustible fósil utilizado frecuentemente en la generación de energía eléctrica como lo son: gasolina, diésel, bunker o querosén.

Es importante recalcar que a través de este proceso, también se puede contribuir a la reducción, de los gases de efecto invernadero, ya que el metano se considera veintiún veces más contaminante que el dióxido de carbono, actualmente estos dos gases conjuntamente con el vapor de agua, óxido de

nitrógeno y el ozono, son los responsables del cambio climático que actualmente vivimos, debido a que elevan la temperatura de la superficie terrestre.

Y el segundo subproducto es un agua tratada que contiene nitrógeno, fósforo y potasio, que actúa como fertilizante y mejoradora de suelos, se puede utilizar para cierta clase de cultivos, como caña de azúcar, maíz para consumo animal, café, árboles frutales, pastos, entre otros.

OBJETIVOS

General

Presentar una solución funcional para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos y aguas residuales, que a su vez permita generar energía eléctrica y el agua tratada usarla como fertiriego.

Específicos

1. Medición y caracterización de las aguas residuales, del tipo ordinario, vertidas en el alcantarillado municipal, por los pobladores de la cabecera departamental de Jutiapa.
2. Medición y caracterización de la basura, recolectada por el tren de aseo en la cabecera departamental de Jutiapa.
3. Propuesta del sistema de tratamiento, para los desechos sólidos orgánicos y aguas residuales.
4. Cuantificar el biogás a producir, derivado del sistema de tratamiento.
5. Cuantificar la energía eléctrica a generar.
6. Cuantificar la cantidad de fertilizante a producir.

7. Evaluar la viabilidad económica del proyecto por medio de indicadores, como valor actual neto, tasa interna de retorno, periodo de recuperación de la inversión.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace unos años, el tema de tratamiento de desechos sólidos y aguas residuales en Guatemala, era para muchos un gasto, que solamente elevaba los costos de producción para el caso de la industria, y para las instituciones de gobierno como las municipalidades, significaba una reducción en los ingresos y la limitante de poder ejecutar una mayor cantidad obras públicas.

Hoy en día existen alternativas que permiten, no solo darle un tratamiento a este tipo de desechos, sino que además sacarle provecho, uno de estos procesos consiste en la utilización de un sistema de biodigestión, llamado biodigestor que no es más que una cámara hermética donde se acumulan residuos orgánicos (vegetales, excremento de animales, aguas residuales ordinarias) mediante un proceso natural de bacterias (anaerobias) presentes en los excrementos que descomponen el material contenido en biogás y en fertilizante. Este biogás puede utilizarse como combustible en un motor de combustión interna, el que a su vez, se acopla a un generador eléctrico, para posteriormente generar energía eléctrica que puede ser reutilizada en diferentes procesos o bien inyectada a la red de energía eléctrica nacional, por último se puede usar el fertilizante producido ya que contiene nitrógeno, fosforo y potasio, además de una carga bacteriana que permiten no solo la mejor de las propiedades del suelo, sino que ayudan a ciertos cultivos a desarrollarse de mejor manera.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Para desarrollar el trabajo de investigación se contó con el apoyo de la unidad DMP (Dirección Municipal de Planificación), tanto para establecer la cantidad de basura recolectada por vivienda, así como los puntos de desfogue de aguas residuales de la cabecera departamental, y con esto dar inicio al estudio de la planta de tratamiento, y el aprovechamiento de subproductos obtenidos.

1.1. Información general de la cabecera departamental

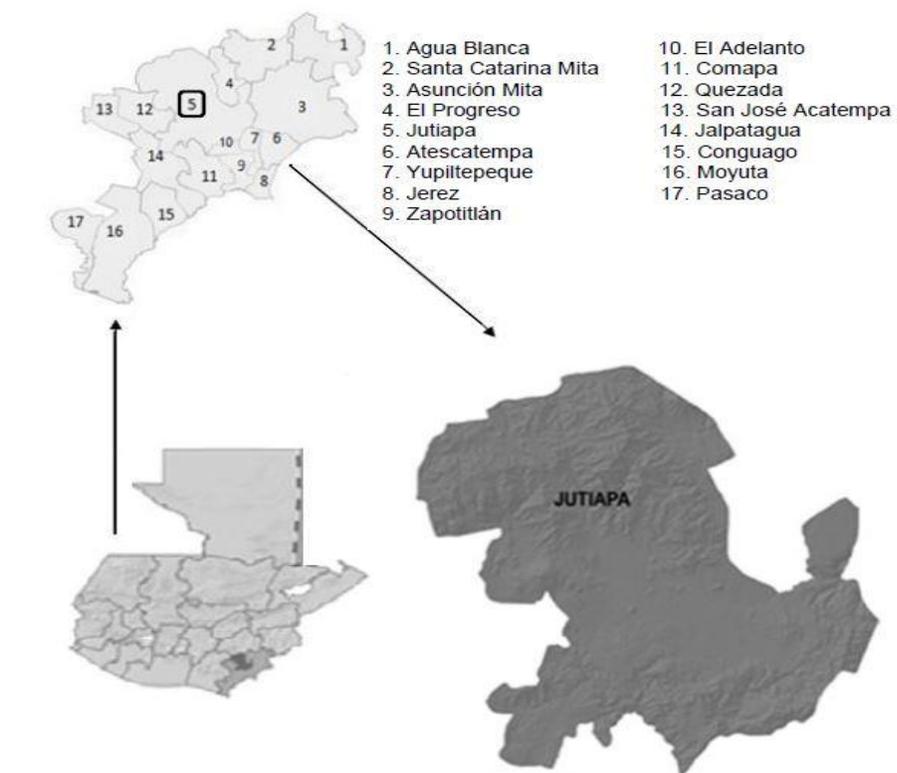
El departamento de Jutiapa se encuentra situado en la región IV o sur oriental en la república de Guatemala, su cabecera departamental es Jutiapa y limita al norte con los departamentos de Jalapa y Chiquimula; al sur con el departamento de Santa Rosa y el Océano Pacífico; al este con la república de El Salvador; y al oeste con el departamento de Santa Rosa. Se ubica en la latitud 14° 16' 58" y longitud 89° 53' 33".

Cuenta con una extensión territorial de 3219 kilómetros cuadrados. El monumento de elevación se encuentra en la cabecera departamental, a una altura de 905,96 metros sobre el nivel del mar pero las alturas en todo el Departamento oscilan entre los 407 en Asunción Mita y los 1 233 metros en Conguaco.

La topografía es variada, la cual trae también consigo la diversidad de climas que se puede decir, que generalmente va desde cálido hasta templado. Se encuentra integrado por 17 municipios: Jutiapa, El Progreso, Santa Catarina

Mita, Agua Blanca, Asunción Mita, Yupiltepeque, Atescatempa, Jeréz, El Adelanto, Zapotitlán, Comapa, Jalpatagua, Conguaco, Moyuta, Pasaco, San José Acatempa y Quezada.

Figura 1 **Departamento de Jutiapa y sus Municipios**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP. Anual 10.

1.2. Información general de la institución

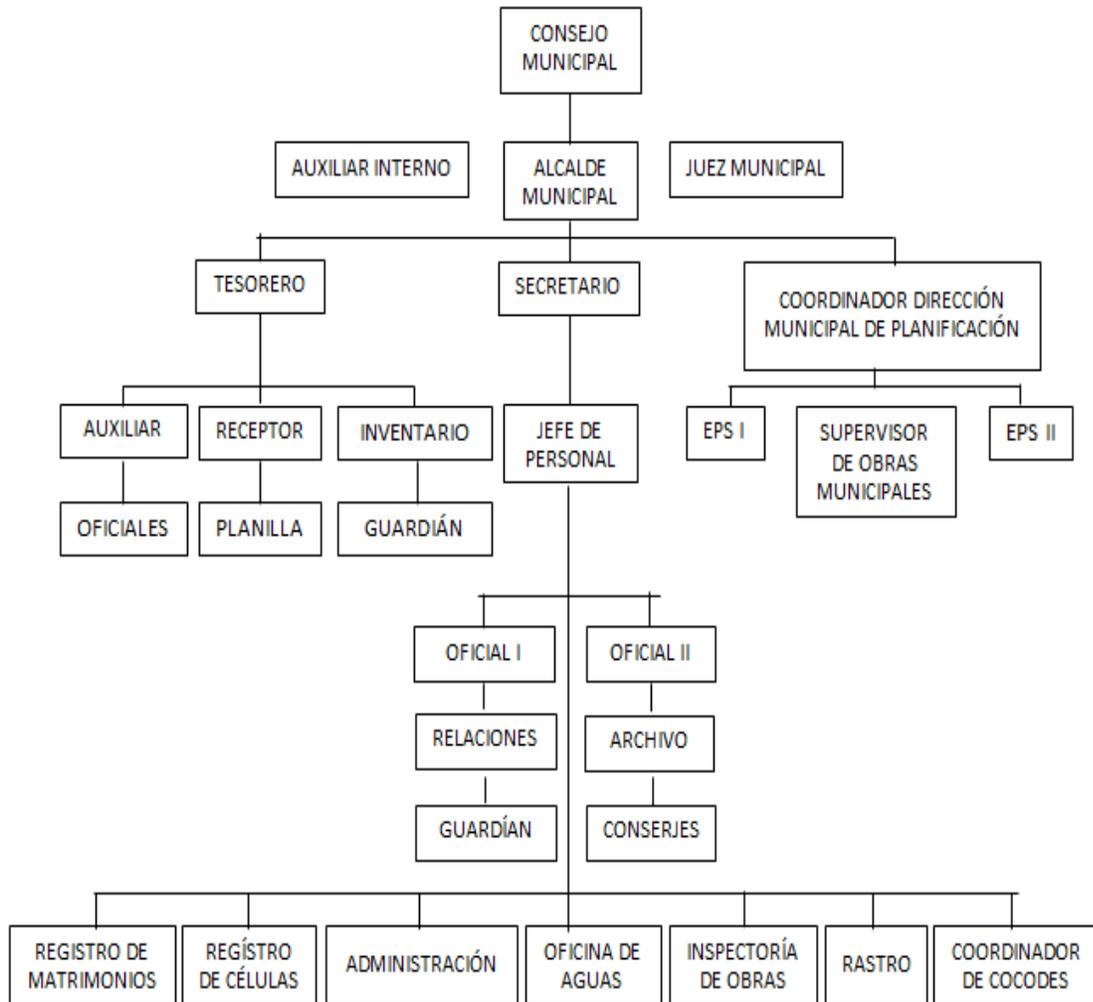
Con base en el Código Municipal según Decreto número 12-2002 del Congreso de la República corresponde con exclusividad al Concejo Municipal el ejercicio del gobierno del municipio, velar por la integridad de su patrimonio, garantizar sus intereses con base en los valores, cultura y necesidades

planteadas por los vecinos, conforme a la disponibilidad de recursos. (Sic). El Gobierno Municipal funciona como un órgano colegiado superior de deliberación y de decisión de los asuntos municipales, donde el concejo municipal, integrado por el alcalde, síndicos y concejales, toman las decisiones trascendentales de manera responsable para el beneficio del municipio, promueven la ejecución de programas y proyectos de desarrollo en atención a las necesidades prioritarias que demanda la población y el territorio; para ello, se apoya del Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE) y de los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODE).

Para el desarrollo de su gestión, la municipalidad de Jutiapa cuenta con la Dirección Municipal de Planificación (DMP), la Oficina Municipal de la Mujer (OMM), y las distintas unidades de trabajo como: Secretaría, Tesorería, Juzgado Municipal, IUSI, entre otras.

Lo anterior se muestra en el organigrama, de la figura 2 que se muestra a continuación y que fue proporcionado por Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa.

Figura 2. **Organigrama Municipalidad de Jutiapa**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP. Anual 10

1.2.1. Misión de la institución

Brindar servicios de calidad con transparencia y tecnología en beneficio del ciudadano, logrando el desarrollo integral y sostenible de la ciudad, a través de una gestión participativa e innovadora.

1.2.2. Visión de la institución

Ser una municipalidad líder que promueve el desarrollo integral de la comunidad, con una gestión eficiente, transparente y participativa, posicionando a Jutiapa como una ciudad segura, ordenada y limpia, donde se fomente la cultura.

1.2.3. Servicios que presta

La municipalidad de la cabecera departamental de Jutiapa presta los siguientes servicios:

- OMN, Unidad de Atención a la Mujer.
- Departamento forestal y de medio ambiente.
- Unidad de atención a la niñez y adolescencia.
- Unidad de atención al adulto mayor.
- Departamento de COCODES.
- Casa de la cultura.
- Sección de educación.
- Dirección municipal de planificación.
- Dirección de servicios públicos.
- Departamento de agua.
- Unidad de comercio.

- Rastro Municipal
- Transportes
- Departamento de servicios públicos municipales
- Unidad de IUSI
- Unidad de apoyo a la educación, biblioteca
- Unidad de estadística
- Departamento de policía municipal de tránsito, PMT
- Dirección de urbanismo y ornato
- Unidad de electricidad

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

En el presente apartado se describen los criterios técnicos adoptados, para la elaboración del estudio de un sistema de tratamiento de la basura orgánica y las aguas residuales mediante su conversión en energía eléctrica y fertiriego por medio de biodigestores. El cual incluye tablas, cálculos, fórmulas y ejemplos, de todo lo efectuado.

2.1. Informe de la disposición de los desechos sólidos orgánicos y aguas residuales generadas.

Como parte de las actividades diarias o cotidianas, está el generar como individuos activos, desechos sólidos que pueden ser del tipo orgánico e inorgánico, a estos desechos también se les conoce como residuos sólidos urbanos, estos son un tipo de residuo que incluye principalmente los residuos domésticos (basura doméstica), a veces con la adición de productos industriales procedentes de un municipio o de una zona determinada.

De igual manera el agua residual de tipo ordinaria, es aquella que se genera derivado de las actividades domésticas del hombre, como por ejemplo: uso de duchas, servicios sanitarios, lavado de ropa, entre otros. Pero que de igual forma requieren un tratamiento antes de ser vertidas o desechadas a un alcantarillado o cuerpo receptor.

2.1.1. Desechos sólidos orgánicos

La cabecera departamental de Jutiapa, no cuenta con una planta de tratamientos de desechos sólidos, por lo que la disposición final se realiza en un vertedero o relleno sanitario, el cual está ubicado en las afueras del casco urbano, en la finca el Estoraque y es arrendado por la municipalidad.

En la cabecera departamental de Jutiapa para la disposición de estos desechos sólidos, participan diferentes frentes, se comenzará con una fuerza de trabajo conformada por 107 personas, distribuidas en todo el casco urbano; su función es la recolección de basura en calles y avenidas, puentes, cuencas de ríos, cementerios, entre otros; así como la detección temprana e identificación de focos de contaminación de basura (basureros clandestinos).

Figura 3. Fuerza de trabajo municipal



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP. Anual 10.

Los recolectores ambulantes son personas no autorizadas por la municipalidad que se dedican a acarrear basura y desechos desde sitios particulares hacia los centros de acopio.

Figura 4. **Recolectores ambulantes**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP. Anual 10.

Los recolectores municipales se distribuyen en turnos de 8 y 24 horas de trabajo en calles y avenidas del casco urbano, la cual es depositada en un camión municipal se transporta al centro de acopio ubicado en el antiguo campo de la feria, para su traslado al vertedero final.

Figura 5. **Recolectores municipales**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP.

La Asociación de Recolectores de Basura, también participan en el tren de aseo, que se realiza en el área del casco urbano, cubriendo aproximadamente un 25 %, es decir una cantidad de 2 000 hogares que pagan su servicio, incluyendo algunos comercios que atienden de manera particular

Figura 6. **Camiones recolectores de basura**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP.

2.1.2. Aguas residuales

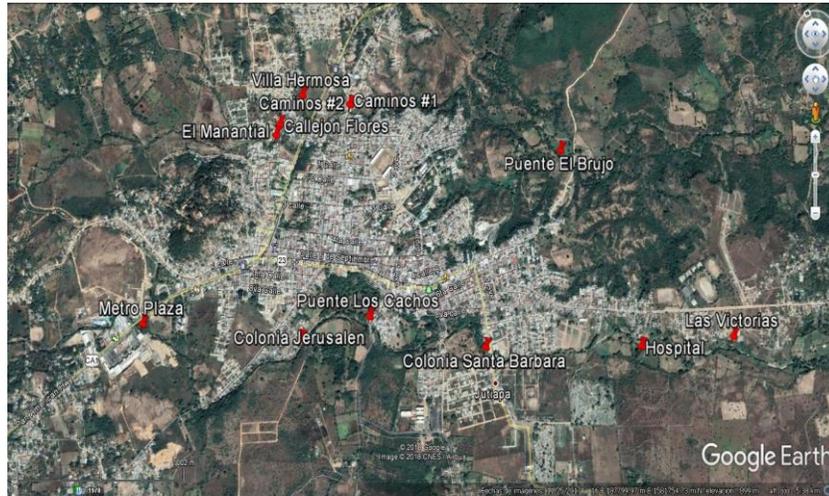
De igual forma que los desechos sólidos, también se generan aguas residuales, las cuales se hayan contaminadas especialmente con materia fecal y orina de los seres humanos o de animales, esta aguas servidas o residuales están constituidas por los sistemas de recolección y tratamiento de los sistemas municipales e industriales.

En algunos casos las aguas residuales se recolectan, tratan y descargan por medio de un sistema común. En el municipio de Jutiapa el sistema municipal no cuenta con una planta de tratamiento oficial y los drenajes se vierten directamente a los ríos o son conducidas al exterior de los hogares, sin embargo, en el casco urbano cuentan con un nivel de tratamiento primario que consiste en eliminar los desechos sólidos de las aguas contaminadas de las fosas sépticas y al momento que desemboquen en los ríos La Paz, De La Virgen, Colorado y río Salado reduce el nivel de contaminación.

Según el INE 2002, el 49,6 % de los hogares contaban con un servicio sanitario y el 36,24 % contaba con fosas sépticas, excusados lavables y letrinas. Es de indicar que la red de drenajes abarcaba solamente al 20 % de los hogares y el 16,24 % no contaba con algún servicio. (Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión, Facultad de Ciencias Económicas USAC, 2013, Página 96).

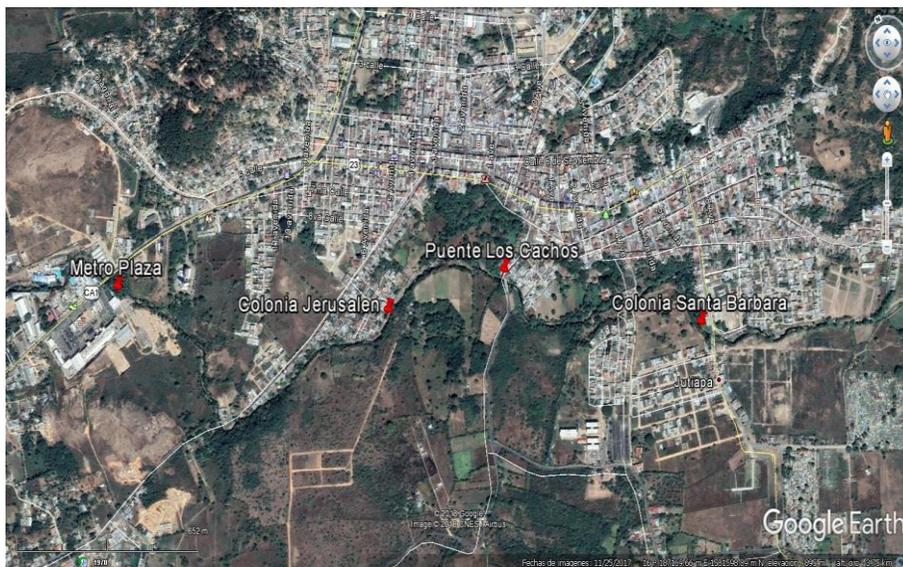
Actualmente, el sistema de alcantarillado municipal, que recorre la cabecera departamental de Jutiapa, descarga en doce puntos diferentes, a lo largo de los ríos ya mencionados con anterioridad, los cuales fueron identificados y marcados en los siguientes mapas.

Figura 7. **Puntos de descarga del alcantarillado municipal I**



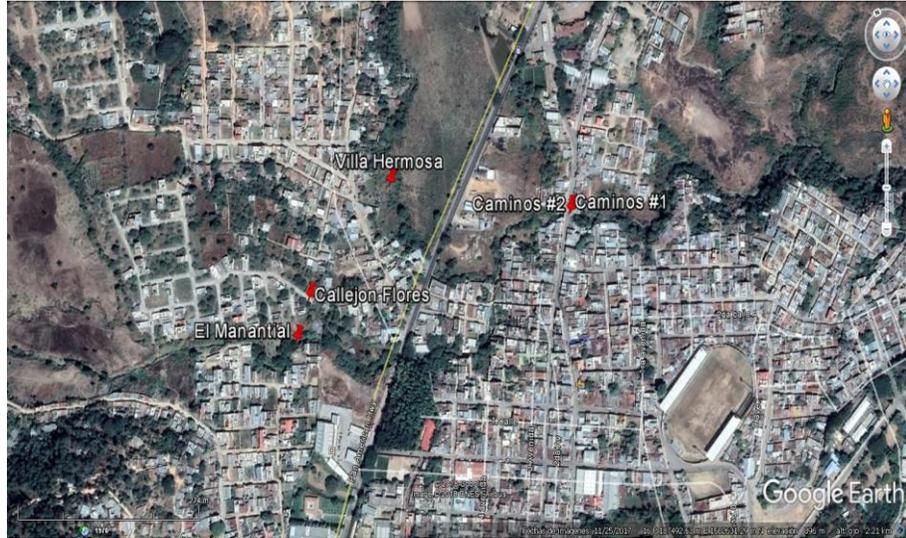
Fuente: uso de Google Earth Link.

Figura 8. **Puntos de descarga del alcantarillado municipal II**



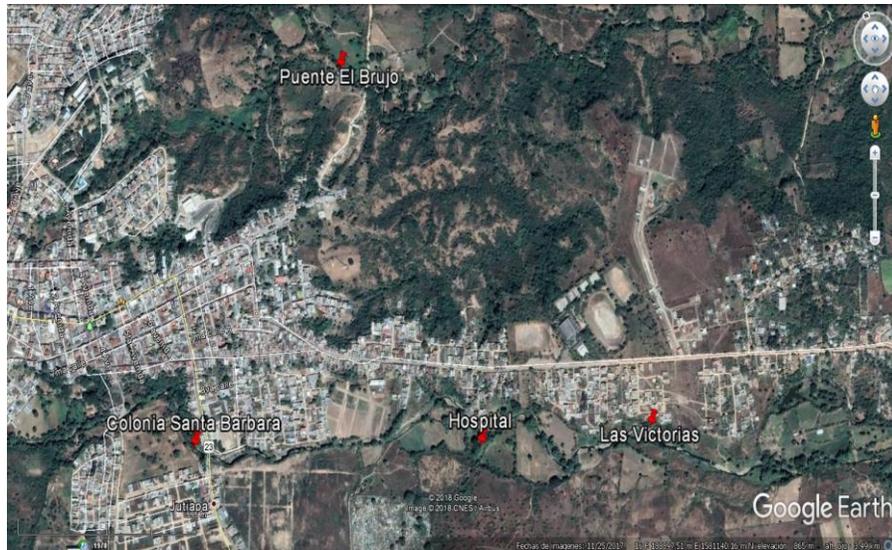
Fuente: uso de Google Earth Link.

Figura 9. **Puntos de descarga del alcantarillado municipal III**



Fuente: uso de Google Earth Link.

Figura 10. **Puntos de descarga del alcantarillado municipal IV**



Fuente: de Google Earth Link.

Tabla I. **Coordenadas geográficas de puntos de monitoreo**

Punto	Latitud N	Longitud O
El Manantial	14°17'53,7"	89°53'57,1"
Metro Plaza	14°17'35,9"	89°54'35,4"
Callejón Flores	14°17'55,1"	89°53'55,6"
Caminos No 1	14°17'52,2"	89°53'40,8"
Caminos No 2	14°17'52,2"	89°53'40,7"
Puente Los Cachos	14°17'17,8"	89°53'52,5"
Villa Hermosa	14°17'57,7"	89°53'49,2"
Colonia Jerusalén	14°17'20,3"	89°54'06,9"
Colonia Santa Bárbara	14°17'03,3"	89°53'33,0"
Hospital	14°16'50,2"	89°53'03,7"
Las Victorias	14°16'43,8"	89°52'45,6"
Puente El Brujo	14°17'26,87"	89°53'03,65"

Fuente: elaboración propia.

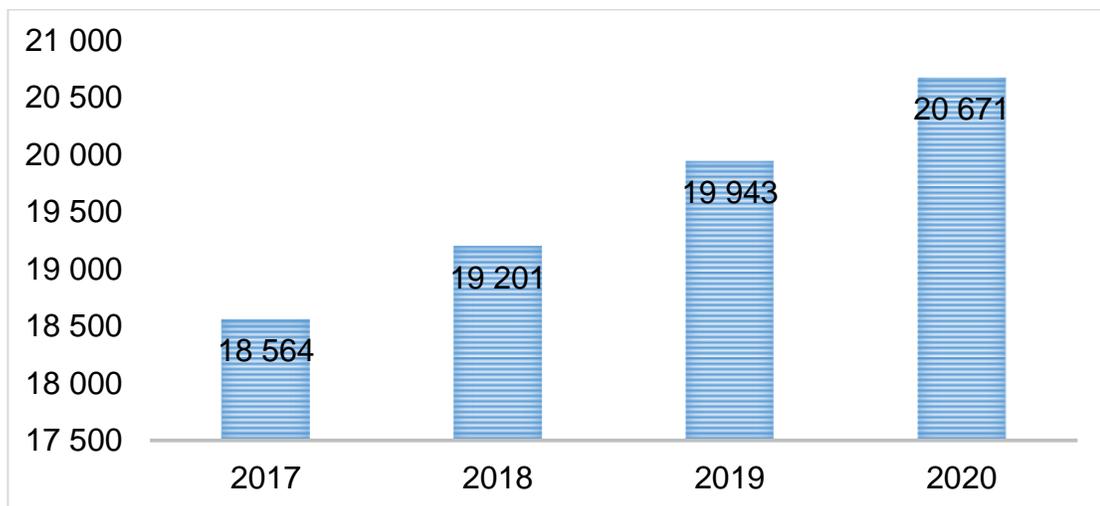
2.2. Análisis y cuantificación de los desechos sólidos y aguas residuales generados

Para ambos casos se ha procedido a una medición para los desechos sólidos, se hizo con la ayuda del tren de aseo, llevando un dato estadístico de la basura recolectada, por los diferentes frentes que ayudan y los centros de acopio que la reciben, y para el caso de las aguas residuales, se midió el caudal vertido en cada uno de los puntos, y se tomaron muestras, las cuales fueron llevadas a un laboratorio, para determinar parámetros fisicoquímicos y metales pesados, de donde se presentan los siguientes datos para ambos casos.

2.2.1. Desechos sólidos

Actualmente estos desechos sólidos crecen, a medida que la población también lo hace, por lo tanto en la figura 11 se ejemplifica como los habitantes de la cabecera departamental de Jutiapa, contribuyen actualmente de manera directa a la generación de estos desechos sólidos, y el crecimiento proyectado de lo que se espera en los próximos años.

Figura 11. **Proyección toneladas por año desechos sólidos**

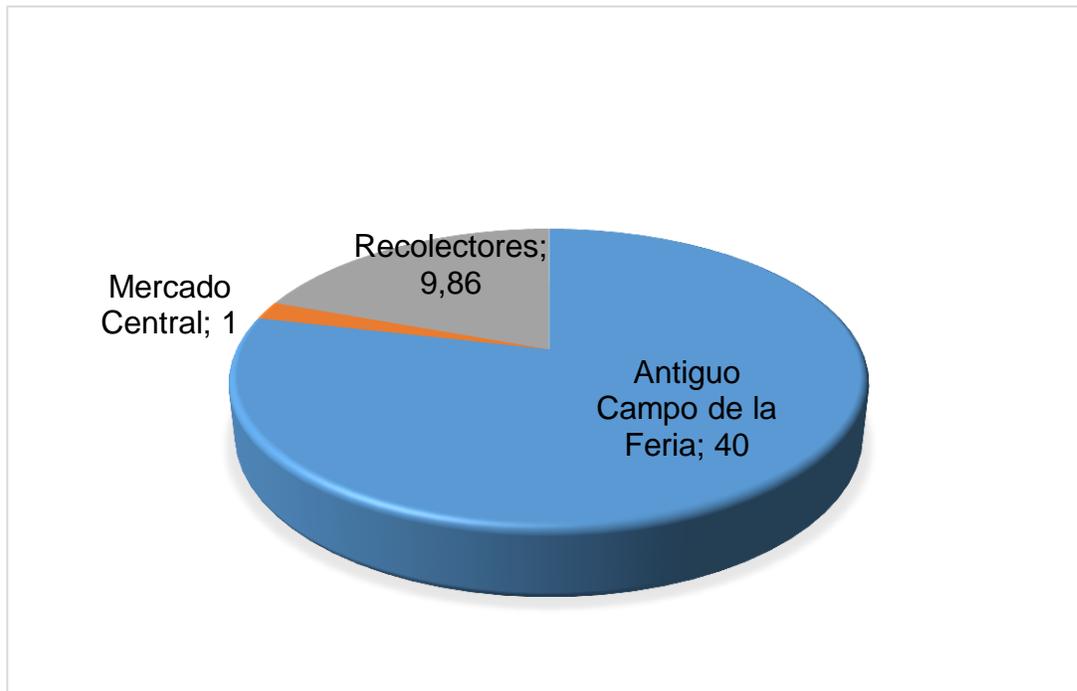


Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP. Anual 10

La población actual de Jutiapa cuenta con 41 847 habitantes aproximadamente, residiendo en 8 369 hogares, parte de estos desechos sólidos recolectados, son el producto de 2 000 hogares que representando el 23,89 % del total de hogares que pagan el servicio a la Asociación de Recolectores de basura de Jutiapa.

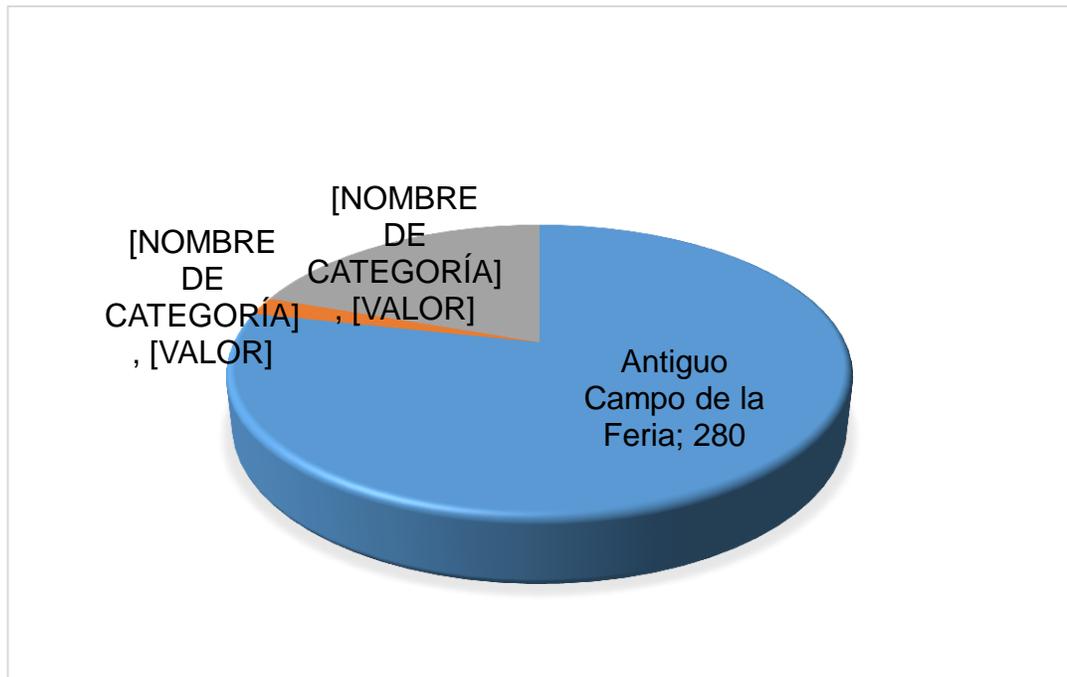
El resto de los hogares, que son 6 369, envían su basura a los dos centros de acopio ubicados, uno en el mercado central y el otro en el antiguo campo de la feria; así como en basureros clandestinos y la basura que se encuentra en calles y avenidas del casco urbano la que es recolectada por el Departamento de Mantenimiento Municipal. Esto representa el 76,10 % de los hogares, la cantidad de basura recolecta según los centros de acopio se refleja en la figura 12.

Figura 12. **Cantidad de desechos recibido por día total 50,86 toneladas**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP. Anual 10

Figura 13. **Cantidad de desechos recibidos por semana total 357 toneladas**



Fuente: Dirección Municipal de Planificación de Jutiapa-DMP.

En pruebas de campo se determinó que en un metro cúbico, caben 33 bolsas negras estándar de basura, con un peso de 407 libras, de las cuales 363 libras, son desechos sólidos orgánicos (89,18 %), mientras que el restante, 44 libras son materiales inorgánicos que se pueden reciclar ejemplo: cartón, vidrio, plástico, bolsas de nylon, entre otros..

2.2.2. Aguas residuales

Estos mismos 41 847 habitantes aproximadamente, residiendo en 8369 hogares, generan los siguientes caudales de agua residual, vertidos en doce puntos diferentes. Las muestras fueron evaluadas durante cuatro días, aunque

para algunos puntos el tiempo fue menor, debido al racionamiento de agua que existe actualmente, cada día fue evaluado en periodos de veinte y cuatro horas, con intervalos de quince minutos en relación a la toma de muestra, los datos se muestran tabulados en la tabla,II.

Tabla II. Medición de caudales en litros por segundo y metros cúbicos por día

	01-oct	02-oct	03-oct	04-oct	Q prom.	Q/día Mts ³
Punto de muestreo	l/seg	l/seg	l/seg	l/seg	l/seg	
El Manantial	2,55	3,04	2,75	0	2,78	240,19
Metro Plaza	0,91	1,11	1,77	1,91	1,43	123,12
Callejón Flores	0,26	0,29	0	0	0,28	23,76
Caminos num. 1	0,37	0,35	0,45	0	0,39	33,70
Caminos num. 2	3,16	3,46	3,38	0	3,33	288,00
Puente Los Cachos	0,0023	0,088	0	0	0,045	3,90
Vista Hermosa	2,76	1,93	1,84	2,16	2,17	187,70
Colonia Jerusalén	6,27	6,52	7,88	0	6,89	595,30
Colonia Santa Bárbara	0,078	0,076	0	0	0,077	6,65
Hospital	2,05	1,27	1,30	2,28	1,73	149,04
Las Victorias	1,27	1,59	0	0	1,43	123,55
Puente El Brujo	0,94	0,83	0	0	0,89	76,46
Total Caudal Mts ³ /día						1851,38

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto se puede estipular que cada persona del casco urbano de la cabecera departamental de Jutiapa, desecha en promedio al día por persona 43,64 litros, y por hogar 218,21 litros. Toda esta agua residual va directamente a los ríos: La Paz, De La Virgen, Colorado y río Salado, sin ningún tipo de tratamiento.

2.3. Diseño biodigestor para la producción de biogás

En la publicación realizada por Lautaro Ignacio Redel, leemos que alrededor del siglo XVIII se detectó la presencia de gas metano en la descomposición del biogás, y luego L. Pasteur, por medio de unos experimentos aislados que realizó, demostró la factibilidad de aprovechar la capacidad de combustión del metano con fines energéticos.

A fines del siglo XIX y durante las primeras décadas de nuestro siglo en varias ciudades de Europa, India y Estados Unidos se instalaron plantas para el tratamiento de aguas negras, en donde los sedimentos de alcantarillado eran sometidos a digestión anaeróbica. El gas producido se utilizó para el alumbrado público o como parte del combustible necesario para operar la planta.

Durante e inmediatamente después de la segunda guerra mundial, la crisis de combustibles hizo que las investigaciones en esta área aumentaran, forzando el desarrollo a pequeña y gran escala, entonces en varios países europeos se desarrollaron y difundieron plantas para la obtención del biogás en el medio rural, con el fin de hacer funcionar tractores y automóviles, debido a la escasez de combustibles fósiles como el petróleo.

Durante la década de 1950, en Asia y particularmente en la India, se desarrollan modelos simples de cámaras de fermentación más conocidos como

biodigestores, para la producción de Biogás y Bioabono apropiados para hogares aldeanos y alimentados con estiércol y desechos vegetales.

En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos fueron difundiendo y desarrollándose de tal manera que hoy en la actualidad estos países cuentan con más de 30 millones de biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación.

2.3.1. Componentes y dimensionamiento de la planta de tratamiento

Los componentes y dimensionamientos que se describen a continuación obedecen a quince años de estudios y ensayos propios de prueba y error, hasta conseguir un sistema eficiente y dado las necesidades propias del país, cumplir con el propósito de tratar tanto las aguas residuales como los desechos sólidos orgánicos, y derivado de esto el aprovechamiento del biogás producido para la generación de energía eléctrica y el agua residual en procesos de fertiriego.

2.3.1.1. Caja de demasilla

Es una estructura que recibe el agua de los colectores municipales, de manera tal que pueda introducirse a la planta de tratamiento, o deriva nuevamente al canal vertido. Esta caja tiene dos compuertas de apertura inversa, es decir, de abajo hacia arriba, con la finalidad de que trabaje en forma continua con la que permite el acceso a la planta de tratamiento, la otra deberá permanecer cerrada y solo se deberá abrir por mantenimiento, derivando así el agua residual nuevamente al canal de desagüe. La caja cuenta con un orificio de entrada hacia la planta que permite dosificar el gasto máximo extraordinario, las excedencias que se presentarán en caso de precipitaciones pluviales,

pasarán por encima del vertedor de excedencias de la caja hacia el canal de desagüe, contiene cuatro dispositivos principales:

- Las compuertas instaladas tienen la finalidad de dejar pasar directamente el agua residual hacia el proceso de tratamiento que inicia con el canal y las rejillas, para esto la compuerta A debe de estar abierta y la compuerta B debe de estar cerrada.
- Dado que no existe un drenaje exclusivo para agua pluvial y estas se mezclan con las aguas residuales, cuando se presenten lluvias la posición de las compuertas deberá cambia, la compuerta A deberá ser cerrada y la compuerta B se abrirá, con esto estaremos enviando el agua de lluvia directamente al cuerpo receptor.

2.3.1.2. Canal de rejas y desarenador

El canal de desbaste o canal de entrada será construido con una losa de fondo de concreto con una parrilla de acero (rejillas) y muros de block. El proceso de cribado generalmente se lleva a cabo para proteger las unidades principales la planta de tratamiento, para que su operación sea eficiente es necesario quitar los sólidos flotantes grandes y sólidos suspendidos que frecuentemente están presente en el caudal de entrada (afluente), estos materiales pueden ser hojas, ramas, papel, trapos toallas femeninas y otros desechos que pueden obstruir el flujo, a través de la planta o dañar el equipo instalado. El sistema de limpieza de rejillas será del tipo manual.

Este sistema requiere una limpieza manual que según la operación deberá ser tan seguido como lo demande el funcionamiento de la misma, o la cantidad de basura que atrape, por eso requiere de una constante vigilancia.

2.3.1.3. Tubos de emergencia

El canal que contiene a las rejillas tiene un sistema de tuberías de emergencia, las cuales funcionan al momento de existir un taponamiento en las rejillas y este no sea retirado a tiempo, el agua brincará este proceso y continuará al otro de forma automática, el motivo es evitar derramamientos de las aguas residuales por sobrecarga en el canal. Una vez que las rejillas sean destapadas el sistema funcionara normalmente.

2.3.1.4. Tanque de captación

Debido a que el gasto de agua residual no es constante, si no que en momentos crece de manera importante, y también hay otros en que es mínimo, se debe buscar la forma de romper el flujo de tal forma que a la planta de tratamiento entre el agua de forma regular, además si se toma en cuenta que los niveles a los que se recibe son demasiados profundos; se establece la necesidad de construir un tanque de captación o cárcamo.

El cárcamo de bombeo es un tanque que regulará el ingreso de agua residual al biodigestor, además se podrá homogenizar la mezcla de entrada ya que aquí se verterán los desechos sólidos orgánicos provenientes de las casas y mercados.

2.3.1.5. Bomba para sólidos

Es una bomba especial que permite ingresar la mezcla homogénea agua residual + desechos sólidos orgánicos al biodigestor. Este equipo requiere de un mantenimiento periódico que será detallado en el cuadro correspondiente.

2.3.1.6. Trituradora o picadora

Es un mecanismo que permite triturar todos los desechos sólidos orgánicos y reducirlos en partículas cuya medida oscilan entre 1 y 3,5 pulgadas, para que puedan ser enviadas por la bomba de sólidos junto con el agua residual hacia el biodigestor. Este equipo requiere de un mantenimiento periódico que será detallado en el cuadro correspondiente.

2.3.1.7. Biodigestor

Un biodigestor es una cámara hermética donde se acumulan residuos orgánicos (vegetales o excremento de animales) y aguas residuales ordinarias, mediante un proceso natural de bacterias (anaerobias) presentes en los excrementos que descomponen el material contenido en metano y en fertilizante. Por medio de este proceso se puede reducir la DBO Y DQO presente en rango de 70 a 80 % de valor de ingreso, el agua podrá depositarse en una laguna secundaria para luego ser utilizada como fertilizante. Su construcción se basa en una laguna recubierta con geomembrana HDPE de 1,5 mm. Y sus taludes o bordas se estabilizan jardineándolas con *Arachis pintoi* o mejor conocido también como maní forrajero.

- Componentes
 - Geotextil o geocopuesto
 - Geomembrana HDPE 1,5 mm
 - Tuberías pvc de 160 psi
 - Sistema de válvulas de alivio
 - Caseta de recirculación y agitación interna.
 - Sistema de trampeo de agua
 - Sistema para quema de biogás

- Cajas de afluente y efluente, construidas con block.
- **Funcionamiento**
 - Cámara de fermentación: el espacio donde se almacena la biomasa o aguas residuales durante el proceso de descomposición de la materia orgánica presente.
 - Cámara de almacén de gas: el espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído.
 - Caja de afluente: la entrada donde se coloca la biomasa o agua residual para ingreso al biodigestor.
 - Caja de efluente: es por donde sale el agua tratada previa a ingresar al sistema de aireación.
 - Agitador: desplaza los residuos que están en el fondo hacia arriba del biodigestor para aprovechar toda la biomasa.
 - Tubería de gas: la salida del biogás. Se puede conectar directamente a un quemador, o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento.

2.3.1.8. Caseta de bombas para recirculación y extracción de lodos

El biodigestor tendrá un sistema que permitirá agitarlo internamente y extraer los lodos activos que se acumulen con el pasar del tiempo, el sistema está construido de block y cemento, techo de costanera Hg y lamian UPVC y alberga las bombas que realizarán dicha función.

Dentro de esta caseta se encuentra un equipo de bombeo activado por un sistema automático que encenderá y apagará la bomba para realizar la

operación de recirculación y agitación interna de la mezcla depositada dentro del biodigestor. Este equipo requiere de un mantenimiento periódico que será detallado en el cuadro correspondiente.

2.3.1.9. Canales pluviales

El biodigestor cuenta con un sistema recolector de agua de lluvia que evita socavamientos en la estructura del mismo y se conducen hacia la salida final del proceso o pueden reabastecer las necesidades dentro del proyecto, como por ejemplo agua de sanitarios, agua para lavado, entre otros.

2.3.2. Clarificador

Su finalidad es la sedimentación de los sólidos sedimentables que puedan escapar del biodigestor o bien lodos activos que escapen del mismo, para posteriormente regresarlo por medio de una bomba sumergible de sólidos al biodigestor y que sean digeridos, en el caso de los sólidos suspendidos y los lodos activos aprovecharlos para que impregnen la materia orgánica que está ingresando y su digestión sea más rápida y eficiente, la construcción de este sistema se realiza colocando como base una losa de concreto y sus paredes en block, un sistema de membranas permite la decantación del agua sin sólidos.

Este equipo requiere de un mantenimiento periódico que será detallado en el cuadro correspondiente.

2.3.3. Clorador

Si la operación así lo requiere se puede clorar el agua de salida, con la finalidad de reducir o eliminar el escherichia coli o E.Coli, esta es una estructura

construida por medio de tubos PVC y se hace por contacto, se debe notar que el cloro a utilizar deberá ser del tipo que no cause daños al medio ambiente.

El sistema es automático en el sentido que solo se colocan una pastillas, las cuales se activan al contacto con el paso del agua tratada en el biodigestor, su cambio dependerá de la operación de la planta y el paso de agua que tenga a través de ellas.

2.3.4. Laguna secundaria

Como etapa final después del biodigestor se puede tener revestida con geotextil y geomembrana de 1,0 mm, una laguna, en la cual se depositará el agua tratada rica en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, que es apta para el fertiriego, el cual puede ser por aspersión, goteo o gravedad. Otra opción es que se puede verter directamente el agua saliendo del biodigestor hacia donde se desee fertirregar.

2.3.5. Procesamiento de lodos

Cuando el biodigestor lo amerite se realizará una extracción de lodos con bomba eléctrica como parte de la limpieza del mismo, esta puede verterse directamente en los potreros y al secarse se incorporará al suelo mejorando los nutrientes del mismo. También se podrá recircular el agua internamente para degradarlos aún más y no hacer extracciones periódicas, el tiempo para ambos procesos dependerá de la acumulación del mismo. También se cuenta con una rampa de concreto para que un camión cisterna pueda, acercarse a la laguna y cargar el fertilizante para ser llevado a donde se necesite.

2.3.6. Áreas complementarias

Con esto se refiere a las áreas de oficina, taller y servicios sanitarios, estas permiten dar a los operarios un lugar para llevar registros de operación y mantenimientos, para realizar trabajos que requiera la planta de tratamiento y por último cubrir sus necesidades fisiológicas.

2.3.7. Generación de energía eléctrica

Son motores de combustión interna, remodelados específicamente para usar el biogas producido como combustible, para luego acoplarse a un generador eléctrico, permitiéndonos generar energía eléctrica.

2.3.8. Memoria de cálculo y diseño de unidades de tratamiento

La presente memoria técnica descriptiva de la planta de tratamiento de aguas residuales y de desechos sólidos orgánicos de la municipalidad de Jutiapa, departamento de Jutiapa, obedece a un diseño donde el objeto es la estabilización de la materia orgánica presente en el agua, así como la de los desechos orgánicos biodegradables, por un procedimiento de tratamiento completo que incluye: pretratamiento físico mecánico; tratamientos primario, secundario físico y biológico, terciario de desinfección, con el objeto de utilizar el efluente tratado con fines de fertirriego, acorde con lo que establece y lo que permite el Acuerdo Gubernativo 236-2006, Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

Conforme con las condiciones estipuladas, el efluente cumplirá con los parámetros establecidos para el efecto, tomando en consideración aquella

información vertida por la municipalidad y la recabada en campo, asociada con un programa de monitoreo y análisis de laboratorio previamente propuesto, con el objeto de obtener información de base.

La propuesta tiende a ser integral e innovadora, pues el objeto es obtener el mayor beneficio de la inversión social, atendiendo a que en la comunidad las aguas residuales provienen de un colector combinado y que los residuos orgánicos, en la actualidad, no están teniendo toda la disposición sanitaria en relleno sanitario para el efecto.

Asimismo, es necesario hacer notar que como todo sistema de saneamiento básico, es necesario mantener un programa de operación y mantenimiento preventivo y correctivo, por lo cual se deberán atender a las condiciones generales de este informe y específicas en los manuales respectivos.

Se recomienda que todo cambio que en la práctica se vaya dando en la operación del sistema, se documente en la bitácora que deberá implementarse para el efecto, operar el sistema conforme a su diseño conceptual y dar fiel cumplimiento a lo establecido en las leyes y reglamentos que le son aplicables, obteniéndose para el efecto los permisos respectivos, previos a la construcción y operación del sistema como tal.

Finalmente es necesario recordar que todo sistema de tratamiento de residuos puede conllevar un riesgo para el ambiente, por lo cual es necesario que su operación cuente con sus respectivas licencias y el personal operativo sea convenientemente capacitado y entrenado para el efecto.

La ubicación del sistema de tratamiento deberá atender a condiciones de salubridad, hidrogeología y de suelos del área en cuestión, para garantizar la salud y seguridad de las personas, el manto freático, la higiene de los alrededores y el resguardo de la inversión, lo cual deberá quedar documentado en los estudios respectivos previa ejecución de la obra.

Es necesario indicar que este tipo de sistemas bien acondicionados y operados resultan en beneficio de las comunidades, pues permiten el manejo sanitario y de bajo riesgo ambiental de los residuos líquidos y desechos sólidos orgánicos seleccionados de forma conjunta, con el potencial de poder generar materiales y efluentes tratados.

Por tal motivo se recomienda a los constructores y a los operadores de la obra, atender a las ordenanzas de las autoridades competentes conforme a la ley y a los contenidos, consideraciones, conclusiones y recomendaciones de orden sanitaria y ambiental que se vierten en la presente memoria e información propia de los manuales respectivos.

2.3.8.1. Ubicación

El sistema de tratamiento estará ubicado en un terreno que proporcionará la municipalidad de Jutiapa, el cual debe de cumplir con la especificación de los planos indicados.

2.3.8.2. Características del terreno

El terreno necesario donde se ubicará el proyecto del sistema de tratamiento corresponde a un polígono rectangular y que posee una extensión

de 16 670,16m² con dimensiones de 135,20 m de largo por 123,30 m de ancho, posee una topografía relativamente de plana a ligeramente ondulada.

A su vez, las obras estimadas del proyecto, área de construcción, es de: 12454,1 m².

El sistema de tratamiento contará con las unidades siguientes:

- Tratamiento primario
 - Caja de demasías.
 - Canal de ingreso, rejas y desarenador.
 - Plataforma para descarga de desechos.
 - Tanque de captación.

- Tratamiento secundario
 - Biodigestor.

- Tratamiento terciario
 - Clarificador.
 - Clorador.
 - Tanque de contacto.
 - Laguna secundaria.
 - Toma para fertiriego.

Los detalles de las obras hidráulicas pueden apreciarse en planos anexos.

A continuación las características generales de las aguas residuales monitoreadas y desechos sólidos esperados.

Seguidamente en el capítulo tres, el cálculo y el diseño de las unidades en cuanto a su operatividad y dimensionamiento.

2.3.8.3. Características del agua residual y desechos sólidos.

Derivado del monitoreo realizado se obtuvieron los resultados de campo y de laboratorio siguientes:

2.3.8.4. Caudal

La medición del caudal se describe en la tabla III.

Tabla III. **Medición de caudal máximo y medio**

Tipo	m ³ /día	m ³ /s	l/s	GPM ¹	m ³ /hora
Medio	2 221,65	0,02571	25,71	407,49	92,57
Máximo	2 567,73	0,0297	29,72	471,05	106,99

¹GPM, Galones Por Minuto.

Factor de seguridad 20 %

Fuente: elaboración propia

2.3.8.5. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua

En anexos puede apreciarse las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, conforme al monitoreo realizado.

Las mismas denotan un efluente con presencia de materia esencialmente orgánica en términos de sus componentes, en particular de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ la Demanda Química de Oxígeno DQO y los sólidos en suspensión SS.

El efluente dadas sus características debe de ser acondicionado para efectos de descarga directa o reuso, conforme aplique y lo estipule el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos.

2.3.8.6. Procedencia de los desechos orgánicos.

Los desechos orgánicos que serán procesados responden a materiales orgánicos biodegradables, en su mayoría restos de alimentos de mercado y residenciales; como frutas, legumbres, carnes, pan, entre otros, buscando que dichos materiales sean biodegradables, pues el objeto es alimentar el biodigestor, que tendrá capacidad para el efecto.

2.3.8.7. Especificaciones de los desechos orgánicos en términos de la DBO y la DQO

Conforme a estimaciones de diseño, los límites máximos de los valores de concentración son los siguientes:

Tabla IV. **Medición de parámetros DBO Y DQO agua residual y desechos sólidos**

Parámetro	Cantidad	Dimensional ¹
DBO ₅ afluente	350	mg/l
DQO afluente	500	mg/l
DBO ₅ sólidos	3 500	mg/l
DQO sólidos	5 500	mg/l

¹DBO₅ Demanda Bioquímica de Oxígeno.

¹DQO Demanda Química de Oxígeno.

Fuente: elaboración propia.

Tanto para el caso del agua residual (afluente), como para los desechos sólidos orgánicos, se realizaron pruebas y mediciones en laboratorios, y mediante análisis estadístico se realizaron las estimaciones de valores para DQO Y DBO.

2.3.8.8. Caja de demasías

En ese sentido el caudal medio real monitoreado fue de 1851,38 m³/día, el caudal pico monitoreado de 2 139,78 m³/día (1,15 veces el caudal medio), por lo cual ese valor es semejante al de un factor de hora máxima. En ese sentido, la caja de demasías se diseñará para el caudal máximo de 2 139,78 m³/día, más un 20 % de factor de seguridad equivalente a 0,0297 m³/s. Tubería de entrada de 10 pulgadas de diámetro, por lo que los parámetros de diseño son:

Tabla V. **Valores de diseño caja demasías**

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal _{Max}	0,0297	m ³ /s	Entrada
Diámetros	10	Pulgadas	Entrada/salida en PVC
Dimensiones del canal	3,6*5	Ancho x largo	
Área canal	18	m ²	Sección transversal de Tubería
Velocidad	0,00165	m/s	Media
Período	25,2	Minutos	Retención en Obra de demasías
Volumen	44,58	m ³	Detalles del dimensionamiento en planos anexos.

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.9. Canal de ingreso

Los valores del canal de ingreso se detallan en la tabla VI.

Tabla VI. **Valores de diseño canal de ingreso**

Q Máximo	0,0297	m ³ /s
Velocidad	0,6000	m/s
Área	0,0495	m ²
Ancho de canal	0,3000	M
Tirante o profundidad de flujo	0,1650	M
Largo de canal	1,4850	M
Tiempo de retención en canal	3,0000	Seg
Retención hidráulica	0,0891	m ³

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.10. Para las rejas

El diseño del canal de rejas se realizó con base en los datos de la tabla VII.

Tabla VII. Valores de diseño canal de rejas

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal	0,0297	m ³ /s	Entrada
Área de ingreso	0,0495	m ²	Sección transversal
Velocidad, V	0,60	m/s	Media de aproximación
Ancho de barras	0,010	m	Unitario, asumido
Ancho espaciamiento	0,040	m	Unitario, asumido
Relación barras/total	1/5		Adimensional
Ancho de barras	0,075	m	Del total de barras
Ancho espaciamiento	0,300	m	Del total de espaciamiento
Ancho del canal	0,375	m	Efectivo
Total de barras	8	U	Unidades
Altura rejas	0,17	m	Máxima cota de agua
Longitud de barras, h	0,38	m	Asumido
Altura ubicación barras	0,32	m	Altura = h x sen60°
Perdida de carga, h _c	0,026	m	$h_c = KV^2/2g$, K=1.
h _c 50% obstrucción, h _c ¹	0,053	m	Misma estimación K=2.

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.11. Para el canal desarenador

En la tabla VIII se describen los valores para el diseño del canal desarenador.

Tabla VIII. Valores de diseño canal desarenador

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal	0,0297	m ³ /s	Entrada
Área de ingreso a desarenador	0,0495	m ²	Canal o tubería
Velocidad de sedimentación ↓	0,0020	m/s	Sección Longitudinal
Velocidad horizontal →	0,3000	m/s	Sección transversal
Área	4 4550	m ²	Sección longitudinal
Longitud de canal	13 5000	m	13,5 m ≤ L ≤ 18 Cv (Marais_y_Van_Haandel)
Tiempo de retención	60,0000	seg	≤ 60s para Vmin ≥ 45s para Vmax
Ancho de canal	0,4000	m	Asumido
Profundidad total del canal	0,9800	m	Tirante de Agua+Psa+0,40m
Tirante o profundidad de Agua	0,3300	m	Máxima cota de agua
Pérdida de carga, canal	0,0046	m	Estimada $h_c = V^2 / 2g$
Volumen de retención en canal	1 7820	m ³	Detalle del dimensionamiento en planos anexos
Profundidad de sólidos arenosos (Psa)	0,25	m	Altura de almacenamiento para solidos arenosos
Cantidad de Canales	2	Unidad	Dos en paralelo (Uno en operación y otro para limpieza)

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.12. Descarga de desechos sólidos orgánicos

Esencialmente consiste en el sistema de disposición de los desechos orgánicos que alimentarán el tanque de captación. El propósito es triturar los residuos sólidos y semisólidos orgánicos biodegradables, para incorporarlos al sistema de tratamiento, pues el biodigestor está diseñado para alta carga.

Tabla IX. **Valores de diseño área descarga de desechos sólidos**

Parámetro	Cantidad	Dimensional ¹	Observaciones
Carga	3 500	mg/l DBO ₅	Estimada a la entrada
Carga	5 500	mg/l DQO	Estimada a la entrada
Relación DQO/DBO ₅	1,5714	Adimensional	Biodegradable
Longitud	5,0	M	Área de recepción
Ancho	5,0	M	Área de recepción
Área	25	m ²	Detalles del dimensionamiento en planos anexos
Volumen de recepción	11,92	m ³	Aproximado (Sólidos con 10 % de humedad)

¹DBO₅ Demanda Bioquímica de Oxígeno.

¹DQO Demanda Química de Oxígeno.

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.13. Tanque de captación

El tanque de captación operará como una unidad de recepción y homogenización del efluente conteniendo los desechos orgánicos propios del afluente, así como de los materiales biodegradables indicados con anterioridad. Los parámetros de diseño del tanque de captación son:

Tabla X. **Valores de diseño tanque de captación**

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal	0,0297	m ³ /s	Entrada
Diámetro	8,50	m	Sección circular
Profundidad	4,20-4,50	m	Mínima-máxima
Volumen máximo	255,35	m ³	A profundidad máx.
Volumen mínimo	238,33	m ³	A profundidad mín.

Fuente: elaboración propia.

El efluente espesado y homogenizado en el tanque de recepción, se trasladará mediante sistema de bombeo hacia el biodigestor.

Las características del sistema de bombeo son las que se indican a continuación.

Tabla XI. **Valores de diseño sistema de bombeo**

Parámetro	Cantidad	Dimensional ¹	Observaciones
Capacidad de Bombeo	122,2	m ³ /hora	SL1.30.A30.55.A.EX.4.61J
Operación	21,1	Horas/día	Tiempo de bombeo medio
Bomba	5,5	Hp	Motor 220
Eficiencia	60	%	Bomba
Tubería	3" Ø	pulgadas	Detalles del dimensionamiento en planos anexos

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.14. Biodigestor

Para el presente diseño se designaran dos unidades diseñadas a caudal máximo, y dividido en partes iguales entre cada una de las unidades de biodigestión, con la finalidad de obtener una mejor producción de biogás.

Los parámetros de diseño son los siguientes:

- Biodigestor 1

Tabla XII. Valores de diseño biodigestor

Parámetro	Cantidad	Dimensional ¹	Observaciones
Caudal	0,014859	m ³ /s	Condiciones de entrada del afluente de agua residual y de los residuos sólidos
DBO ₅ fluente	350	mg/l	
DQO _{afluente}	500	mg/l	
DBO ₅ sólidos	3 500	mg/l	
DQO _{sólidos}	5 500	mg/l	
Tiempo	15	días	Tiempo de retención
Eficiencia	70 %	Porcentaje	Reducción estimada de la carga de los compuestos orgánicos
Volumen	19 258,02	m ³	Detalles del dimensionamiento en planos anexos

Fuente: elaboración propia.

- **Biodigestor 2**

Tabla XIII. Valores de diseño biodigestor II

Parámetro	Cantidad	Dimensional ¹	Observaciones
Caudal	0,014859	m ³ /s	Condiciones de entrada del afluente de agua residual y de los residuos sólidos
DBO ₅ afluente	350	mg/l	
DQO _{afluente}	500	mg/l	
DBO ₅ sólidos	3 500	mg/l	
DQO _{sólidos}	5 500	mg/l	
Tiempo	15	Días	Tiempo de retención
Eficiencia	70 %	Porcentaje	Reducción estimada de la carga de los compuestos orgánicos.
Volumen	19 258,02	m ³	Detalles del dimensionamiento en planos anexos

¹Demanda Bioquímica de Oxígeno.

¹DQO Demanda Química de Oxígeno.

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.15. Clarificador

La unidad de clarificación funcionará como complemento del sistema de biodigestión, para la remoción de materia que pudiese ser susceptible de ser sedimentada.

Tabla XIV. Valores de diseño clarificador

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal	0,0297	m ³ /s	Entrada
Velocidad ↑	0.755	m/h	Ascensional libre de entrada
Altura efectiva	4,55	m	De sedimentación
Área	141,61	m ²	De sedimentación
Ancho	11,90	m	Asumido
Largo	11,90	m	Asumido
Tiempo de retención	6	h	Calculado
Volumen	644,33	m ³	Detalles del dimensionamiento en planos anexos

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.16. Clorador

Se empleará un sistema de desinfección por medio de equipo de cloración (hipoclorito de calcio grado comercial) al 70 % cloro activo.

La dosificación estará en función de la calidad del efluente a efecto de asegurar la reducción de su contenido bacteriológico conforme lo estipula el Reglamento. Se iniciará el proceso de cloración en dosis iniciales de prueba entre 1-5 mg/l de cloro activo. Detalles de la unidad en planos anexos.

2.3.8.17. Tanque de contacto

El tanque de contacto es una unidad en la cual se desea permitir que el efluente tratado continúe en contacto íntimo con el desinfectante, para una mayor eficacia del mismo, por lo cual se prevé esta unidad.

Tabla XV. **Valores de diseño tanque de contacto**

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal	0,0297	m ³ /s	Entrada
Largo	7,5	m	Asumido
Ancho	5,0	m	Asumido
Área superficial de agua	36	m ²	Área=Vol/h
Área de separadores	1,5	m ²	Detalles del dimensionamiento en planos anexos
Área total	37,5	m ²	Área =largo*ancho
Altura	1,5	m	Asumido
Tiempo de contacto	30	min	Calculado
Volumen	54	m ³	Detalles del dimensionamiento en planos anexos

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.18. Laguna secundaria

La laguna secundaria además de permitir continuar con el contacto del desinfectante con el efluente, funcionará a su vez como un reservorio para el agua de reuso para fertirriego, igualmente de permitir la oxidación por contacto con el cloro. Consiste esencialmente en un tanque de forma de pirámide invertida de forma troncada cuyos valores de diseño son los siguientes:

Tabla XVI. **Valores de diseño laguna secundaria**

Parámetro	Cantidad	Dimensional	Observaciones
Caudal	0,0297	m ³ /s	Entrada
Largo	41,75	M	Asumido
Ancho	98	M	Asumido
Altura	5	M	Asumido
Volumen	6444,17	m ³	Dimensionamiento en planos anexos

Fuente: elaboración propia.

2.3.8.19. Toma para fertirriego

Finalizado el proceso de tratamiento descrito con anterioridad, el efluente tratado, será reusado para actividades de fertirriego, aprovechamiento el potencial del efluente en cuanto a la masa de agua que representa y a su vez, que poseerá nutrientes para el suelo.

El uso específico será acorde a lo que estipula el Acuerdo Gubernativo 236-2006, conforme al estudio técnico respectivo y los reportes de laboratorio que se vayan generando para el efecto.

2.3.8.20. Operación

El sistema operará conforme el esquema de flujo que se muestra en la página siguiente.

Es de hacer notar que el equipamiento de la operación contará con su manual respectivo y se dará la capacitación que se requiera para la correcta operación del sistema.

No obstante, el sistema también operará por gravedad.

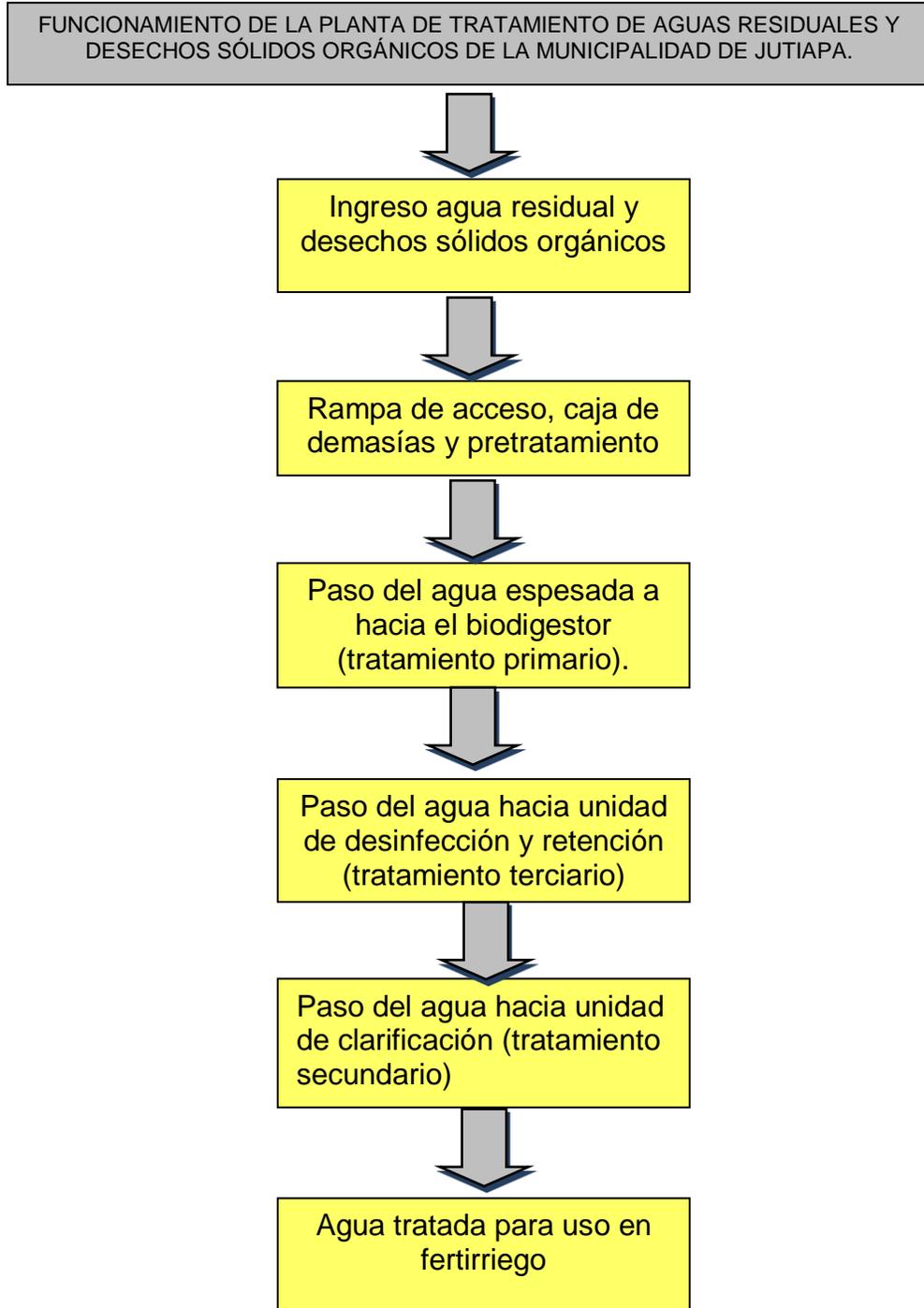
2.3.8.21. Referencias técnicas de cálculo

En el anexo se muestran las referencias más relevantes de cálculos empleados para el diseño de las unidades de tratamiento, éstos basados en criterios convencionales de hidráulica e ingeniería sanitaria.

2.3.8.22. Diagrama de flujo

El diagrama de flujo se detalla en la figura 14.

Figura 14. Diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia.

2.4. Cantidad de biogás producido en mts³/día

El biogás producido es un gas compuesto básicamente, por metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y en pequeñas trazas nitrógeno y oxígeno, los porcentajes de cada uno de los elementos en la mezcla depende mucho de qué materia se esté degradando dentro del biodigestor.

Para el caso de la cantidad de biogás a producir, se debe de tomar en cuenta las siguientes variables, temperatura dentro del biodigestor, potencial de hidrógeno (Ph), tipo de desechos sólidos orgánicos y el valor de DQO del agua residual que está ingresando (¹Demanda Bioquímica de Oxígeno, ¹DQO Demanda Química de Oxígeno).

De los estudios previos realizados en campo se puede establecer el siguiente cálculo:

2.4.1. Desechos sólidos orgánicos

1 tonelada de desecho sólido equivale a 66,15 Mts³ de biogás, a una DQO DE 5,500 mgl.

Tabla XVII. **Valores producción de biogás por tonelada de desecho sólidos**

	Ton/día	DQO mgl	Biogas Mts/día
Desechos sólidos orgánicos	45,35	5 500	3 000

Fuente: elaboración propia.

La estimación de la cantidad de biogás a producir, obedece al estudio realizado en un biodigestor del tipo propuesto en este proyecto, en él se ingresaron diferentes tipos de desechos sólidos orgánicos y se evaluaron durante un año, de ahí el factor de 66.15 Mts³ de biogás por tonelada ingresada.

Agua residual

$$\text{DQO Kg/día} = (\text{Q (m}^3\text{/día)} \times \text{DQO mg/l}) / 1\ 000$$

Q = caudal por día medido en metros cúbicos.

DQO, demanda biológica de oxígeno en miligramos por litro

$$\text{DQO} = (1\ 856,38 \times 156,7) / 1\ 000 = 290,11 \text{ Kg.}$$

Tabla XVIII. **Producción de biogás por metro cúbico de agua residual**

	Mts ³ /día	DQO mg/l	DQO Kg	Biogas Mts/día
Agua Residual	1 851,38	156,7	290,11	159,56

Fuente: elaboración propia.

0,55 Mts³ de biogás. Por lo tanto, para el presente caso se tendría una producción de biogás, equivalente a 3159,56 Mts³ por día.

Además las características del biogás producido pueden apreciarse en la siguiente

Tabla XIX. **Composición del biogás % del volumen**

Composición Biogás	Rango
CH ₄	55 a 70 %
CO ₂	25 a 40 %
N ₂	2 a 7 %
H ₂	1 a 5 %
H ₂ S	50 a 5 000 ppm
PCI (en base seca)	2 300 KJ/Nm ³
Densidad relativa	0,8 a 1,2
ρ promedio	1,13 kg/Nm ³

Fuente: elaboración propia.

2.5. **Costos de operación y mantenimiento planta de tratamiento**

El costo por operar la planta de tratamiento y sus componentes se describe en la tabla como el periodo que debe de realizarse cada mantenimiento en los diferentes equipos.

Tabla XX. Frecuencia y costo del mantenimiento planta de tratamiento

Número	ACTIVIDAD	D	S	M	S	OBSERVACIONES	COSTO ANUAL
1	Operador fijo	X				Persona de Lunes a Sábado	Q51 840,00
2	Revisión de funcionamiento de bombas	X				Engrase y limpieza	Q 2 000,00
3	Revisión/cambio de aceite dieléctrico				X		Q 7 200,00
4	Revisión/cambio de cojinetes / cambio sellos a bombas auxiliares				X		Q10 000,00
5	Engrase cojinetes de bombas auxiliares		X			Grasa Número 2 para cojinete, para bomba en caseta de recirculación y agitación	Q 2 000,00
6	Revisión/cambio de cuchillas, chumaceras, tolva, banda transportadora.	X				Aplica para el caso de la picadora de frutas y verduras	Q 5 000,00
7	Graduación cuchillas de corte de picadora	X	X	X	X	Cada vez que exista cambio de frutas y verduras, y lo requiera la operación	Q 1 500,00
8	Inspección instalaciones eléctricas y reapretado de conexiones.				X		Q 2 000,00
9	Geomembrana biodigestor, estado y fugas	X				En caso de fugas se puede aplicar SIKAFLEX 1a, banco, construcción Sealant, en lo que se llega a soldar con cordón de extrusión.	Q 2 000,00
10	Revisión de estado y fugas, tubería de conducción de Biogas a generadores	X				Las tuberías de trampas de agua deben de estar llenas de agua.	Q 2 500,00
11	Pintura y mantenimiento de barandales				X	Esta operación puede ser de día o bien de noche.	Q 5 000,00

D= diario s= semanal m= mensual

A= anual

TOTAL MANTENIMIENTO ANUAL

Q91 040,00

Fuente: elaboración propia.

Como resultado final se obtiene un costo anual de noventa y un mil cuarenta quetzales (Q 91 040,00), lo que permitirá mantener funcionando correctamente la planta de tratamiento.

Tabla XXI. **Consumo de energía eléctrica, equipos auxiliares planta de tratamiento**

E.Eléctrica	Hp	Kw	No Mot	Kw total	Hrs Trabajo	Kwh/mes
Bombeo	5,5	4,12	2	8,24	10	2 474,01
Clarificador	3	2,24	2	4,49	2,4	323,87
Agitación	10	7,49	2	14,99	6	2 698,92
Totales				27,73	18,4	5 496,80

Fuente: elaboración propia

Utilizando el simulador de la página de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE, tendremos un costo aproximado por consumo de:

Tabla XXII. **Simulación costo consumo de energía eléctrica equipos auxiliares planta de tratamiento**

Detalle de cargos	Precios	Consumo kWh	Importe Q.
Cargo fijo por Cliente	748.805133		748.81
Cargo por Energia	1.000407	5496 kWh	5,498.24
Cargo por potencia Maxima	28.79453	30 kW	863.84
Cargo por potencia Contratada	63.560251	30 kW	1,906.81
Total Cargo			9,017.69
Total IVA			1,082.12
Cargo por exceder la potencia contratada, (Art. 75 de la NTSD)			0.00
Penalización por bajo factor de potencia, (Art. 51 de la NTSD)			2,477.94
Tasa Municipal			0.00
Redondeo mes anterior			0.00
Ajuste por redondeo			-0.75
TOTAL A PAGAR			12,577.00

Fuente: www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php.

Por lo tanto el consumo de energía mensual será de Q 12 577,00 mensuales.

2.6. Selección del motogenerador

Actualmente podemos encontrar una gama de motores de combustión interna acoplados a generadores de energía eléctrica que trabajan con biogás, en sustitución del combustible fósil que normalmente utilizan, siendo el caso más común el del uso de diésel. Dentro de estos generadores de energía eléctrica encontramos:

2.6.1. Motogeneradores JENBACHER

Son generadores en el rango de potencia desde 0,25 Mw a 3 Mw, se operan con gas natural o una amplia gama de variedad de combustibles renovables o alternativos, como gas de relleno sanitario, biogás, gas de carbón , entre otros, es necesario contar con un sistema previo de limpieza de biogás para evitar daños internos en el motor de combustión interna. Estos equipos no pueden operar con más de 50 ppm de sulfuro de hidrogeno, porque se daña la cama de combustión interna del motor.

Figura 15. **Generador JENBACHER 1 Mw**



Fuente: Proyecto Basurero zona 3 Guatemala.

Figura 16. **Tren de limpieza de biogás**



Fuente: Proyecto Basurero zona 3 Guatemala.

2.6.2. Motogeneradores MAN

Motores alemanes desde 60 kW hasta 550 kW. O motores ingleses Cummins con alternadores Leroy Sommer, desde 20 kW hasta 1,5 MW. Debe de considerarse un tren de limpieza del biogás previo a su ingreso a la cámara de combustión del motor, estos equipos no pueden operar con más de 50 ppm de sulfuro de hidrogeno.

Figura 17. **Generador MAN 75 Kw**



Fuente: Catalogo de generadores eléctricos AquaLimpia

Figura 18. **Tren de limpieza de biogás**



Fuente: Catalogo de generadores eléctrico AquaLimpia

2.6.3. Tipo de motor de combustión interna a utilizar

Como ya se pudo observar en los modelos de generadores eléctricos presentados con anterioridad, para que el motor trabaje con eficiencia debe de realizarse una limpieza del biogás, previo a que ingrese a la cámara de combustión, sin embargo para este proyecto se ha seleccionado un motor DOOSAN, con las siguientes características:

Tabla XXIII. **Especificaciones técnicas del motor DOOSAN**

Potencia Motor Nominal a 1,800 r.p.m	393 B.H.P.
Potencia Motor Continua a 1,800 r.p.m	335,2 B.H.P
Tipo de Motor	DOOSAN
R.P.M.	1 800 rpm
Combustible	Biogás
Tipo de Encendido	Electrónico
Tipo de aspiración	Charge cool
Número de cilindros	12 EN V BITURBADO
Diámetro	128 mm
Carrera	142 mmm
Cilindrada	21,9 L
Sistema de enfriamiento	Circulación forzada por bomba centrífuga
Especificaciones del Aceite del Motor	SAE 20W-50 Norma MIL-2104D CD Serie 3
Relación de compresión	10,5:1
Consumo de combustible a plena carga (100%)	154 m³/h
Cantidad de líquido refrigerante	50 % agua y 50 % anticongelante 318 litros
Batería recomendada	2 baterías de 12v en serie LTH 827C

Fuente: Manual de operación y mantenimiento motor DOOSAN.

Y dado a los arreglos realizados previamente, este motor no necesita que el biogás sea tratado, por lo que la operación se vuelve más sencilla al evitar un gran número de equipos adicionales, y el costo por mantenimiento se ve reducido significativamente, a diferencia de los anteriores este equipo puede trabajar hasta con 9,000 ppm de sulfuro de hidrógeno, que es el componente que daña las cámaras de combustión interna en los motores tradicionales.

La elección de este equipo también está basado en su consumo de biogás por hora, ya que se dispone de 3 159,56 mts³ de biogás por día, y el consumo de este motor es de 154 mts³/hora de biogás, por lo que podremos operar un tiempo aproximado de 20 horas por día.

2.6.4. Tipo de generador eléctrico a acoplar

Para la potencia del motor de combustión interna, se selecciona un generador marca WEG, con las siguientes características:

Tabla XXIV. Especificaciones del generador WEG

Potencia del generador	336 Kw
Modelo	GTA315SIBI
Servicio Stand By	396 Kw
Continuo	336 Kw
Tensión	220 v a 440 v
Factor de Potencia	0,8
Frecuencia	60 Hz
Brida	SAE 0
Disco	disco 14
No. De terminales del generador	12

Continuación de la tabla XXIV.

Tipo de aislamiento del Generador	H (Baja Tensión)
Tipo de excitación	autoexcitación
Tipo de Refrigeración del Generador	Ventilación forzada
Regulador de Tensión Integrado	GRT7-TH4 PE
Amperaje	220v - 300 amp 440v - 600 amp
Tipo de Carcasa del Generador	Mediana GTA 315
Fases	3
Hilos	4
Ciclo de Operación	Continuo y/o Intermitente
Régimen de sobrecarga	10 % hasta 2 horas c/24 Horas
Tipo de Generador	Síncrono seriado

Fuente: elaboración propia.

Hasta el momento solo hemos designado el tipo de motor y generador a utilizar, pero para poder determinar la potencia a generar debemos de realizar algunos cálculos, tomando en cuenta lo siguiente se tiene que el biogás está formado, dependiendo en gran parte del sustrato, por un 40-70 % de metano; 30-60 % de CO₂ y pequeñas cantidades de otros gases, como sulfuro de hidrogeno. Tiene un poder calorífico aproximado de 5,500 kcal/m³ (4 000 – 6 000). Muy por debajo del diésel que es de 10,931 Kcal/Kg o bien 10,931 Kcal por cada 1,19 litros de diésel, lo que significa que para compensar este valor debemos de usar casi 2 mts³ de biogás por cada 1,20 litros de diésel. El factor de conversión de la DQO a metano será de 0,06615 m³CH₄/kg de desecho sólido con una DQO = 5 500 mgl, a una temperatura de 25 °C y presión de una atmósfera. En energía primaria sería de 1kWh/1,62 mts de biogás.

Dado que la mezcla combustible gas no puede ser mayor a 154 metros cúbicos por hora, en la cámara de combustión del motor, el generador podrá darnos una potencia de 250 Kw, y no de 336 Kw como lo indica la placa. Por lo tanto podemos establecer la tabla XXV.

Tabla XXV. **Relación consumo biogás por Kw producido**

Potencia	Consumo de biogás
1 Kw	1,62 Mts ³ de biogás
2 Kw	3,24 Mts ³ de biogás
3 Kw	4,86 Mts ³ de biogás
4 Kw	6,48 Mts ³ de biogás
5 Kw	8,10 Mts ³ de biogás
6 Kw	9,72 Mts ³ de biogás
7 Kw	11,34 Mts ³ de biogás
8 Kw	12,96 Mts ³ de biogás
9 Kw	14,58 Mts ³ de biogás
10 Kw	16,2 Mts ³ de biogás

Fuente: elaboración propia.

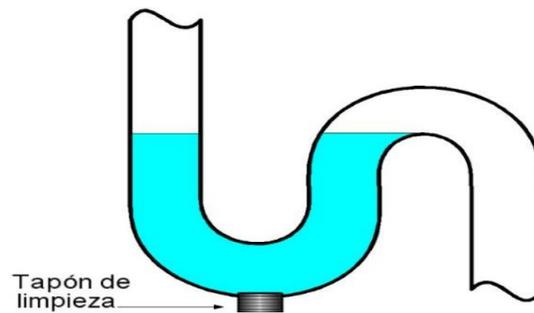
2.6.5. Equipos auxiliares a utilizar

Si bien este sistema no utiliza un tren de limpieza para quitar el sulfuro de hidrógeno presente el biogás, si tiene equipos auxiliares importantes como lo son:

2.6.5.1. Sistema de trampeo de agua

Es un sistema diseñado para atrapar la humedad presente en el biogás, y evitar que reaccione con el sulfuro de hidrogeno, convirtiéndose en ácido anhídrido, dañando así la cámara de combustión del motor, este sistema se fabrica con el principio del sifón utilizado en los desagües de los aparatos sanitarios, fregaderos, lavados, entre otros.

Figura 19. **Ejemplo funcionamiento sifón**



Fuente: WIKIPEDIA.

La columna de agua de la derecha es capaz de soportar una presión de 0,06 KPa, que es la que ejerce el Biogas dentro del biodigestor a máximo llenado, cuando la columna de agua en el lado izquierdo supera el nivel mostrado en la figura, el lado derecho rebalsa manteniendo así el nivel de agua deseado y evitando que el biogás se escape a la atmosfera.

Además esta trampa se coloca de tal forma que cuando el biogás, pasa por un punto determinado existe un vacío en la continuidad de la tubería haciendo que el agua caiga por su propio peso en la trampa y el gas continúa su camino.

Figura 20. **Sistema de trapeo agua**



Fuente: Proyecto Arrocera Los Corrales, Villa Nueva, Guatemala.

- **Filtro deshumidificador**

Se elabora con una cubierta de pvc de 160 psi, dentro de ella se encuentra sílica gel, material ferroso y una lámina estriladla, su función es terminar de secar el biogás, y retener la humedad que pudo haber pasado por las trampas de agua, este filtro debe de cambiarse aproximadamente cada seis meses.

Figura 21. **Filtros deshumidificadores gemelos**



Fuente: Catálogo MOPESA, México.

2.6.5.2. Soplador regenerativo

A pesar de que el biogás es introducido a la cámara de combustión, gracias a un sistema Venturi de entrada generado por el flujo de aire proveniente del sistema biturbo instalado, se debe de colocar un soplador que ayudará al generador en los momentos de máxima demanda de carga o cambios repentinos en la demanda de carga, esto debido a que el biogás no responde de igual forma que un combustible fósil, por eso se hace necesario una inyección de biogás a mayor velocidad y presión, por lo que esto se logra con la instalación del soplador regenerativo.

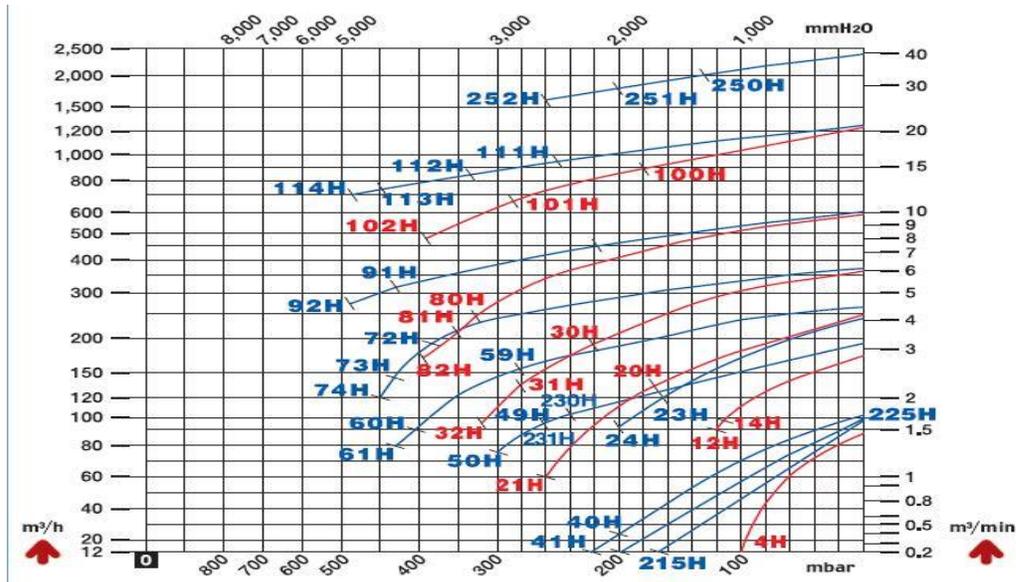
Figura 22. Selección del modelo de soplador

MODEL	Phase/ Stage	Motor	Current (A)	Sound Level (dB)	Rated Pressure (mmH2O)	Rated Vacuum (mmH2O)	Air Flow (m ³ /min)	Weight (kg)	Curve No
IHB-101	1/1	0.4 kw	4.5	64	1200	1000	1.4	15	4H
IHB-201	1/1	0.75 kw	6	66	1200	1100	2.9	20.9	14H
IHB-301	1/1	1.5 kw	11.5	75	1800	1600	4	35	23H
IHB-401	1/1	2.2 kw	15	75	2800	2000	4	37	24H
IHB-100	3/1	0.5 kw	2.4	64	1300	1000	1.4	12.6	4H
IHB-200	3/1	0.93 kw	4.2	66	1300	1200	2.9	18.1	12H
IHB-300	3/1	1.75 kw	6.7	75	2000	1700	4	30.9	20H
IHB-400	3/1	2.55 kw	9.5	75	3000	2600	4	35	21H
IHB-500	3/1	2.55 kw	9.5	76	2000	2200	6	37	30H

Fuente: Catálogo sopladores INHA.

Para este caso se ha seleccionado el modelo IHB-400, con una capacidad de 4 mts³/mi de biogás o 240 mts³/hora, como ya se dijo este solamente se utiliza para momentos de máxima de manda de potencia o cambios repentinos en la misma, normalmente se da en el caso de arranques de equipos de alta potencia, arriba de los 100 Hp.

Figura 23. **Curvas de rendimiento del soplador**



Fuente: Catálogo sopladores INHA.

La curva 21H permite saber más del comportamiento de este soplador, a diferentes valores de presión, a mayor presión requerida menor cantidad de biogás introducirá a la cámara de combustión.

Figura 24. **Soplador seleccionado**



Fuente: Catálogo sopladores INHA.

2.6.6. Costo de mantenimiento y operación del motogenerador y los equipos auxiliares

En la tabla siguiente se muestra un estimado del costo anual, por mantenimiento del generador de energía eléctrica, el soplador regenerativo y el filtro deshumidificador.

Tabla XXVI. **Costo mantenimiento generador eléctrico de biogás por año**

Generador 250 Kw
 Trabajo 580 Hrs/mes
 Servicio 200 Horas
 Over hall 3,000 Horas

	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTALES	
Hrs Trabajo	580	760	740	720	700	680	660	640	620	600	580	760	6,940	Hrs/año
Servicios	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	34	Serv/año
Materiales	7,300	10,950	10,950	10,950	10,950	10,950	10,950	10,950	10,950	10,950	7,300	10,950	124,100	Q/año
M.O	2,920	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380	4,380	2,920	4,380	49,640	Q/año
Over Hall	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	60,000	Q/año
													Q 233,740	Total/año

Fuente: elaboración propia.

El tiempo de generación se ha estimado en 29 días al mes, dejando un tiempo muerto por servicios de mantenimiento de 18 días al año, lo que da un total por concepto de Mantenimiento del generador eléctrico y equipos auxiliares de trescientos setenta y siete mil novecientos noventa y cuatro quetzales anuales (Q 377 994). El moto generador eléctrico tanto en su parte mecánica (motor de combustión interna), y eléctrica (generador eléctrico), no sufren daños o desgastes considerables en sus piezas, ya que a diferencia del biogás producido en vertederos, este no contiene amoníaco, disulfuros y

mercaptanos, los cuales son responsables del proceso de oxidación de los diferentes componentes del motor de combustión interna y generador eléctrico.

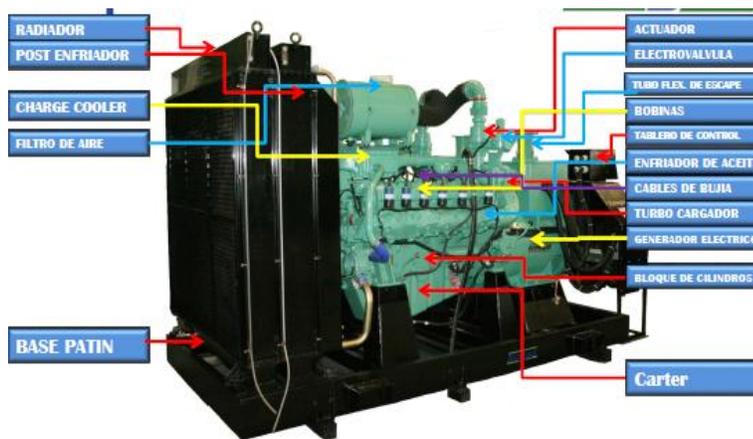
2.6.7. Descripción final, componentes del motogenerador de biogás seleccionado y consideración a tomar para su operación y mantenimiento

Hasta el momento ya se ha elegido un motogenerador, el cual producirá una potencia de 250 Kw, con un consumo de biogás de 154 mts³ por hora, pero es importante conocer sus demás componentes, y recomendaciones que deberán ser atendidas para su buen funcionamiento.

2.6.7.1. Estructura del motogenerador

La estructura básica así como cada uno de los componentes más importantes se muestran en la figura 25.

Figura 25. Componentes del generador eléctrico de biogás 250 Kw.



Fuente: elaboración propia.

2.6.7.2. Servicio preventivo del motor

- Para el caso específico del motor de combustión interna deberán de seguirse las siguientes instrucciones y recomendaciones:
 - Cada 200 horas cambio de aceite, filtros de aceite, lavado de motor e inspección general del equipo.
 - Cada 1 500 horas cambio de bujías iridium. Además del servicio preventivo cambio de filtros de aire e inspección general del equipo.
 - Cada 1 000 hrs lavar radiador y postenfriador y limpieza de filtro de biogás.
 - Cada 2 000 limpieza de tablero de sincronía e inspección general de conexiones.

- Recomendaciones:
 - Cuando el motor por cualquier circunstancia vaya a estar parado durante más de 15 días es importante agregar aditivo wd-40 a la cámara de combustión. Para evitar que el sulfuro de hidrogeno ataque a las partes internas del motor.
 - Evitar que el motor trabaje en vacío ya que se provoca un daño en las camisas y anillos y disminuye en mucho la vida útil del motor y en tal caso perderá la garantía.
 - Cambio de filtro de partículas de biogás cuando se considere que ya no está cumpliendo con su función. Vida útil promedio del filtro 5 años.

- Involucrar al personal encargado de operar el equipo al 100 % para aprovechar al máximo la energía producida por el motogenerador.

2.6.7.3. Mantenimiento a generador

Lo siguiente obedece a los trabajos de manteniendo que deberán observarse, para el generador eléctrico, estos trabajos están establecidos para un régimen de trabajo de 5 000 horas

- Desconexión y desacople de generador a motor.
- Limpieza general.
- Revisión de caja de balero y fijación de arrastre de bobina (excitatriz giratoria).
- Revisar conexiones (cableado y puntos de soldadura) en corona de diodos.
- Inspección de rotor principal verificar si no presenta arrastre con estator.
- Barnizar embobinados.
- Cambiar de balero (doble sello).
- Acoplar generador a motor.
- Revisión de conexiones en generador y regulador automático (zapatas de ojo y fasto hembra). cambiar si se requiere.
- Pruebas con carga.

2.6.7.4. Tablero de Bus, operación, limpieza y parámetros de ajustes del equipo

El tablero de bus de barras es importante porque permite cumplir las condiciones de servicio en los sistemas de distribución de energía de baja

tensión y deberán ser diseñados y fabricados basándose en las siguientes normas y estándares

Tabla XXVII. **Normas a cumplir tableros de bus**

NORMA		DESCRIPCIÓN
IEC	60439-1	Conjuntos de aparata de bajo voltaje y control - parte 1: ensambles de tipo probado y parcialmente de prueba.
IEC	60439-2	Conjuntos de aparata de bajo voltaje y control - parte 2: Requerimientos particulares para los sistemas de trunking de búsqueda (carriles).
IEC	60529	Grados de protección proporcionados por los recintos (Código de IP).
IEC	60410	Planes de muestreo y procedimientos para inspección por atributo.
NTC	2050	Sección 364. Canalizaciones De Barras colectoras (busways)
NEMA	250	Recintos para equipos eléctricos (1 000 voltios máximo)
UL	857	Busways

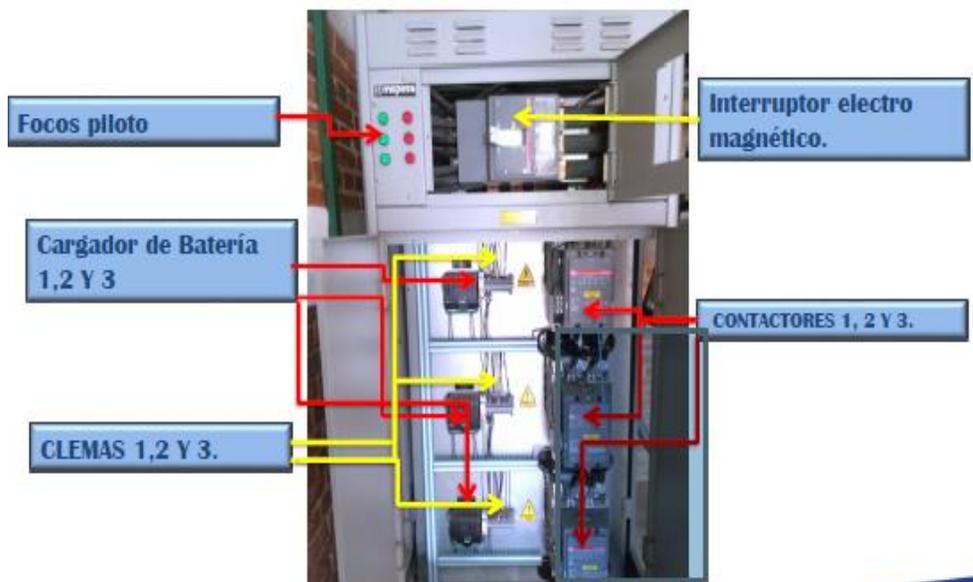
Fuente: elaboración propia.

Pueden emplearse otras normas internacionalmente reconocidas equivalentes o superiores a las aquí señaladas, siempre y cuando cumplan lo solicitado en la presente Especificación Técnica.

2.6.7.5. Estructura del tablero de bus

Los componentes de este tablero se especifican y señalan en la siguiente figura 26, cabe mencionar que para cada aplicación existirá una configuración y componentes distintos, de acuerdo a las necesidades existentes en el diseño del sistema de generación de energía eléctrica.

Figura 26. Componentes tablero de bus



Fuente: elaboración propia.

2.6.7.6. Parámetros e indicadores de arranque.

Antes de arrancar los equipos en modo sincronía, se deberá hacer un arranque manual de los motogeneradores, esto con la finalidad de verificar los valores del equipo, así como los parámetros de arranque:

- Frecuencia
- Voltaje fase-fase
- Voltaje fase-neutro
- Amperaje – valor 0
- Número de revoluciones
- Presión de aceite
- Nivel de anticongelante
- Temperatura

Todos estos parámetros son indicados en la pantalla del módulo 8610, a través de los botones del menú.

2.6.7.7. Módulo de Control 8610 DEEP SEA

El motogenerador viene equipado con un sistema de control, que permite el monitoreo de los parámetros más importantes, tanto del motor de combustión interna, como del generador eléctrico, este consta de las siguientes funciones o mandos:

Figura 27. Funciones Módulo control 8610 DEEP SEA



Fuente: elaboración propia.

2.6.7.8. Secuencia de arranque manual

Para poner en funcionamiento el motogenerador, deberán de seguirse los siguientes pasos:

- Ir al módulo de control 8 610, pulsar el botón de modo manual y posterior a esto el de arranque de motor.
- Verificar parámetros.
- Trabajar el o los motogeneradores de 3 a 5 minutos en vacío para alcanzar la temperatura de 60 grados centígrados.
- Revisar que las RPM estén en 1 800 dentro del módulo buscando la leyenda instrumento de motor.
- Revisar temperatura y presión de aceite de motor dentro de la pantalla del módulo buscando la leyenda 35 grados y 60 psi respectivamente.

- Revisar voltaje L-N de generador buscando la leyenda instrumentación de generador verificando valores de L1 254 V L2 254 V L3 254 V.
- Revisar voltaje L-L del generador verificar que la frecuencia este en 60Hz. Rango programado L1-L2 440v. L2-L3 440v L3-L1 440v.

Nota:

- Si el selector se encuentra en la posición de sincronía, y el módulo 8610 en automático, el generador se accionara solo.
- En la condición de arranque manual no se enclavan los contactares del tablero de BUS.

2.6.7.9. Paro de emergencia

En caso de cualquier anomalía presionar el botón rojo de paro de emergencia, así como para el mantenimiento y limpieza de equipo.

Figura 28. Botón de paro de emergencia



Fuente: Generador 250 Kw.

2.6.7.10. Mantenimiento a tablero de bus

Limpieza cada 2 000 horas de trabajo de los motogeneradores, deberá de realizarse el siguiente mantenimiento:

- General.
- Lijar barras de cobre y zapatas (neutro y tierra física).
- Revisar contactores de generación e interruptor, desensamblar bobinas para limpieza interior, lijar contactos (platinos) y núcleos de bobinas.
- Revisión de conexiones de clemas en tablero de sincronía, gabinete de moto generador y conectores de módulos. (Si es necesario cambiar o colocar zapatas ferruly de ojo).
- Reapriete de conexiones en general.

Figura 29. **Tablero de bus**



Fuente: Proyecto LEGUMEX, El Tejar Chimaltenango, Guatemala.

2.7. Circuito eléctrico sistema de generación de energía eléctrica

Como ya se estableció anteriormente, se puede instalar un generador eléctrico de 250 Kw, con un tiempo de trabajo diario de 20 horas. Por lo que existen dos opciones de aprovechamiento para la energía eléctrica generada, la primera sería operando como GDR (generador distribuido renovable), en tal caso se debe de conectar a la red de distribución en media tensión y la segunda forma como autoprodutores con excedente de energía, que de igual forma debe de conectarse a la red de distribución, solo que en baja tensión, dado que la generación para este caso es a una escala mayor a 50 Kva, se considera la figura de GDR.

2.7.1. Generador distribuidor renovable

El viernes 4 de octubre del 2008 se publica en el diario de Centro América la resolución número 171-2008 de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), dado que el artículo 16 bis. Del reglamento de la ley general de electricidad establece que: los distribuidores están obligados a permitir la conexión a sus instalaciones y a efectuar las modificaciones o ampliaciones necesarias para permitir el funcionamiento del generador distribuido Renovable (GDR), para lo cual deberá determinar la capacidad del punto de conexión y las ampliaciones necesarias de sus instalaciones, y que para el efecto la comisión emitirá las disposiciones generales y la normativa para regular las condiciones de conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable, de conformidad con la Ley General de Electricidad y su reglamento.

Por lo que la CNEE resuelvo emitir la Norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable y -NTGDR- y usuarios autoprodutores con excedentes de energía.

Todo esto derivado y como se explica en la misma publicación del diario de Centro América, considerando que en Guatemala existe un potencial de obtener energía eléctrica de fuentes renovables dispersas en todo el territorio nacional.

2.7.2. Generación distribuida renovable

Según la NTGDR, Es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco megavatios (5 MW). (2014/6).

2.7.3. Generador distribuido renovable

Según la NTGDR, es la persona la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de una central de generación de energía eléctrica, que utiliza recursos energéticos renovables y participa en la actividad de generación distribuida.

2.7.3.1. Tecnologías clasificadas como GDR

Según el NTGDR, son aquellas que se utilizan para la generación de energía eléctrica, utilizando fuentes de energía tales como:

- Biomasa: energía derivada de cualquier tipo de materia orgánica y biodegradable, de origen vegetal o animal, que puede usarse

directamente como combustible o ser convertida en otras fuentes energéticas antes de la combustión, incluye Biogás.

- Eólica: energía producida por el viento.
- Geotérmica: energía producida por medio del calor natural de la tierra, que puede extraerse del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin.
- Hidráulica: energía producida por el agua.
- Solar: energía obtenida de la radiación solar.
- Otras: las que determine posteriormente el Ministerio de Energía y Minas.

2.7.3.2. Normativas que deben de atenderse por los GDR

Las siguientes normativas deberán de atenderse,

- Constitución Política de la República de Guatemala.
- Ley General de Electricidad (Decreto No. 93-96).
- Reglamento de la Ley General de Electricidad (Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y sus reformas).
- Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (Acuerdo Gubernativo No. 299-98 y sus reformas).
- Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía. NTGDR
- NTGDR-(Resolución CNEE-227-2014).
- Normas Técnicas del Servicio de Distribución - NTSD- (Resolución CNEE-09-99).
- Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución –NTDOID- (Resolución CNEE-47-99).

- Ley general de electrificación.
- Normas de Coordinación Comercial del administrador del mercado mayorista.
- Normas de Coordinación Operativa del administrador del mercado mayorista.
- Otras resoluciones afines de la CNEE.

2.7.3.3. Obligaciones del interesado en participar como GDR

La Norma NTGDR describe las siguientes obligaciones para el interesado:

- Presentar ante el distribuidor la solicitud de dictamen de capacidad y conexión, utilizando el formulario autorizado adjuntando la información indicada en el mismo.
- Entregar la información técnica de sus instalaciones, solicitada por el distribuidor o la CNEE, para la adecuada evaluación de la información del interesado, relacionada con el proyecto que desea conectar.
- Construir y cubrir los costos de la línea y equipamiento o instalaciones, necesarios para llegar al punto de conexión, incluyendo el último elemento de maniobras entre las instalaciones del GDR y las existentes del distribuidor.
- Cumplir las condiciones que la CNEE establezca en la resolución de autorización, tanto para la debida conexión como para la operación de sus instalaciones.
- Cubrir los costos de las modificaciones o ampliaciones de las instalaciones de distribución, adyacentes al punto de conexión, y que la CNEE, considerando el dictamen de capacidad y conexión del

distribuidor, determine y autorice, después de la evaluación pertinente de dichos costos.

- Instalar sistemas de protección y de desconexión para la seguridad de las personas y sus instalaciones, así como para evitar daños al sistema de distribución y de otros usuarios.
- Cumplir con las tolerancias permitidas para los indicadores de calidad, establecidos en las NTSD, que le sean aplicables.
- Entregar la información que la CNEE requiera, en la forma y tiempo que ésta disponga, para efectos de dar cumplimiento a lo dispuesto en la LGE, el RLGE y la presente Norma.
- Cumplir otros requerimientos que le mande la LGE, el RLGE, esta norma y la CNEE.
- Registrar en la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, las cotas como central generadora menor o igual a cinco megavatios (5MW), para proyectos de generación distribuida renovable que utilicen tecnología hidráulica.

Esta acción la deberá realizar el interesado previo a presentar su solicitud de dictamen de capacidad y conexión al distribuidor, para garantizar que no exista conflicto de cotas con otros proyectos en el mismo río.

- Cuando el GDR opte por participar en la venta de potencia y solicite la asignación de la oferta firme y oferta firme eficiente, deberá habilitarse en el mercado mayorista como integrante y cumplir con lo establecido en las NCC y NCO.
- Incluir en la solicitud de dictamen de capacidad y conexión todos los documentos requeridos por esta norma.
- Que la información del proyecto presentada en la solicitud de dictamen de capacidad y conexión sea igual a la presentada a las diferentes entidades que intervienen en el proceso de autorización, entre otras:

nombre, ubicación, potencia, características técnicas de la línea de conexión y cuando corresponda, las cotas.

- Realizar la solicitud de dictamen de capacidad y conexión previo al inicio de la construcción de su proyecto.

Y como normas supletorias podrán utilizarse las normas internacionales ANSI, IEEE O IEC, en lo que aplique siempre que no contradigan la Norma NTGDR, los distribuidores no deberán imponer a los GDRs condiciones técnicas para la conexión u operación, diferentes a las establecidas en la LGE, en el RLGE y en esta norma o las aprobadas y emitidas por la CNEE. Cuando los GDRs opten por la comercialización de oferta firme y oferta firme eficiente, deberán atender lo establecido en las normas y procedimientos del AMM.

2.7.3.4. Requerimientos de conexión

Los requerimientos para la realización de la conexión se detallan en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Cuadro con los requerimientos de conexión GDR

Tipo de Conexión	Capacidad			
	Monofásico (5)	Trifásico		
Características	Menor o igual a 50 Kw	Menor o igual a 500 Kw	Mayor de 500 hasta 2000 Kw	Mayor de 2000 Kw hasta 5000 Kw
Dispositivos de interrupción (capacidad de interrumpir la máxima corriente de falla)	X	X	X	X(4)
Dispositivo de desconexión de la interconexión (manual, con bloqueo, visible, accesible)	X	X	X	X
Dispositivo de desconexión del generador	X	X	X	X
Disparo por sobretensión	X	X	X	X
Disparo por baja tensión	X	X	X	X
Disparo por sobre/baja frecuencia	X	X	X	X
Chequeo de sincronismo (A: Automático, M: Manual)	X-A/M (1)	X-A/M (1)	X-A/M (1)	X-A/M (1)
Disparo por sobre corriente a tierra		X- (2)	X- (2)	X- (2)
Disparo de potencia inversa		X- (3)	X- (3)	X- (3)
Si exporta, la función de la dirección de potencia puede ser usada para bloquear o retrasar el disparo por baja frecuencia			X	X
Disparo por telemetría/transferido				X
Regulador automático de tensión				X- (1)
Disparo por falta de tensión en la red (Relé anti-isla)	X	X	X	X

Continuación de la tabla XXVIII.

Notas:

(X) - Característica requerida (sin marca = no requerida).

(1) - Requerida para instalaciones con capacidad de autosuficiencia u operación aislada.

(2) - Puede ser requerido por el distribuidor; selección basada en el sistema de aterrizamiento.

(3) - Requerida para verificar la no exportación al sistema de distribución, a menos que la capacidad del generador sea menor que la carga mínima que pueda tener como usuario.

(4) - El GDR con exportación al sistema de distribución tendrá ya sea dispositivos redundantes o los listados.

(5) - La potencia máxima permitida para generadores monofásicos es de 50 kW. Los dispositivos de protección a instalar en el punto de conexión deben estar debidamente coordinados con el sistema de protección utilizado por el distribuidor.

Fuente: CNEE-227-2014 Norma Técnica GDR.

2.7.4. Especificaciones técnicas de medida

Las siguientes especificaciones técnicas están referenciadas del documento, código: ES.2166.GT-TM con el título especificaciones técnicas de medida, suministros en media tensión con potencia instalada mayor a 150 kVA (capítulo V), Edición 1, para conectar las nuevas instalaciones a la red DEOCSA y/o DEORSA, con el propósito de conciliar y armonizar aspectos de construcción y operación de la prestación del servicio.

2.7.5. Características generales de los equipos de medida

Las especificaciones del Código: ES.2166.GT-TM, definen los equipos y componentes que deberá contener nuestro circuito eléctrico previo a ser conectado a la red de DEOCSA o DEORSA, de manera más amplia, por lo que

se detallan a continuación de manera literal, tal y como se exponen en dicho código.

2.7.5.1. Transformadores de corriente (CT'S).

Los transformadores de corrientes se utilizan para reducir la corriente a niveles menores, de manera que se facilite la medición y resguarde la seguridad de las personas que tienen a su cargo la medición y verificación del suministro, deben ser homologados por Deocsa-Deorsa, según las normas internacionales que contemplan las siguientes características:

- Tipo de servicio: exterior
- Ambiente: clima tropical
- Intensidad primaria: la relación de transformación se dimensionará en función de la carga instalada.
- Intensidad secundaria nominal: 5 A
- Potencia de precisión: 12,5 VA para circuitos a 13,8 kV y 22,5 VA para circuitos a 34,5 kV.
- Clase de precisión: 0,3 • Gama extendida: 120 %
- Factor de seguridad (Fs): ≤ 5
- Tensiones más elevada para el material (V_m), tensión soportada a frecuencia industrial (V_f), tensión soportada al impulso tipo rayo (V_I), según tabla XXVII.
- Frecuencia nominal : 60 Hz
- Intensidad térmica de cortocircuito (I_{ter}): 200 IN (Para $IN \leq 25A$) 80 IN (para $IN > 25A$), con un mínimo de 5kA.
- Intensidad dinámica de cortocircuito: 2,5 I_{ter} .
- Deberá ser de una sola relación.
- La bornera del secundario debe ser estanca y precintable.

Tabla XXIX. **Tensión primaria nominal (Kv)**

Tensión primaria nominal (kV)		
	Redes hasta 13.8kV	Redes hasta 34.5 kV
Vm (kV)	15	38
Vf (kV)	34	70
VI (kV)	110	200

Fuente: Código: ES.2166.GT-TM DEORSA-DEOCSA Página 6

2.7.5.2. Transformadores de potencia (Pt's)

Los transformadores de potencial se utilizan para reducir el voltaje a niveles menores, de manera que se facilite la medición y resguarde la seguridad de las personas que tienen a su cargo la medición y verificación del suministro, deben ser homologados por Deocsa-Deorsa, según las normas internacionales que contemplan las siguientes características:

- Tipo de servicio: exterior.
- Ambiente: clima tropical.
- Potencia de precisión 75 VA.
- Tensión primaria nominal: $13\ 800:\sqrt{3}$ (red de 13,8 kV) o $34\ 500:\sqrt{3}$ (red de 34,5 kV)c
- Tensión secundaria: 120 V en circuitos a 13,8 kV y 115 V en circuitos a 34,5 kV.
- Clase de precisión: 0,3 o mejor.

- Tensión más elevada para el material (V_m), tensión soportada a frecuencia industrial (V_f), tensión soportada al impulso tipo rayo (V_I), según tabla adjunta:

Tabla XXX. **Tensión primaria nominal (kV) I**

Tensión primaria nominal (kV)		
	Redes hasta 13.8kV	Redes hasta 34.5 kV
V_m (kV)	15	38
V_f (kV)	34	70
V_I (kV)	110	200

Fuente: Código: ES.2166.GT-TM DEORSA-DEOCSA.

- Factor de tensión: 1,9 durante 8 h.
- Frecuencia nominal: 60 Hz.
- La bornera del secundario debe ser estanca y precintable.
- Deberá ser de una sola relación.

2.7.5.3. Dispositivos de verificación

Se debe instalar un dispositivo de verificación que servirá de puente entre los conductores de los secundarios de los transformadores de corriente, los voltajes y el medidor, el objetivo de este dispositivo es facilitar la conexión del equipo de verificación sin interrumpir el registro de energía en el medidor. El dispositivo debe disponer de 11 terminales de entrada-salida con conexión por tornillos y registros para conectar Terminales tipo banana. Deberá incorporar 3 puentes móviles para facilitar la conexión de los transformadores de intensidad.

El dispositivo debe incluir un cobertor transparente precintable que impida totalmente el acceso a cualquiera de los terminales. Ver en anexos detalle en plano.

2.7.5.4. Medidor

Se utilizarán medidores de energía activa y reactiva de estado sólido, tipo de sobreponer, con clase de precisión 0.2S en activa y 0.5 en reactiva, demanda máxima, a cuatro hilos, multirango en tensión y display de 6 dígitos, con memoria másica.

2.7.6. Condiciones generales de la instalación de medida

En este apartado el código: ES.2166.GT-TM, explica la forma en que se deberán instalar y conectar los equipos antes descritos.

2.7.6.1. Rack o montura de medición

Este deberá ser de aluminio o acero galvanizado, capaz de soportar el equipo de medición montado en poste. Ver en anexos detalle en plano.

2.7.6.2. Acometida

La acometida la constituyen todos los componentes y accesorios necesarios para transportar la energía desde las líneas distribución de media tensión hasta el punto de transformación del cliente. Todos los diseños deberán ser consultados antes de su construcción, deben cumplir con las especificaciones establecidas en la normativa de DEOCSA o DEORSA.

2.7.6.3. Armario de medida

Tiene como principal función el albergar el medidor de energía, dispositivos de verificación y accesorios de telemedida. El gabinete puede ser metal o de poliéster, materiales resistentes a los agentes ambientales. El gabinete deberá cumplir con las siguientes características para ser homologado por Deocsa-Deorsa:

- Completamente cerrado y poseer una única puerta frontal, con grado de protección mínimo IP 54 y protección mecánica mínima IK 9.
- Medidas internas mínimas: altura 64,70 cm Ancho 43,60 cm Profundidad 25,00 cm.

Contar con los siguientes equipos:

- Transformador reductor o acople de 50 VA.
- Bornera de verificación.
- Interruptor automático de un polo y Capacidad 1A.
- Tomacorriente.
- Espacio disponible para la instalación del equipo de telemedida.
- En el caso de la tele medida solo se debe de dejar el espacio suficiente para instalarla.
- Poseer doble fondo de material aislante con suficiente rigidez mecánica para soportar el peso de los equipos.
- Poseer una puerta o división interior transparente de plexiglás transparente o material similar con el objetivo de verificación, con la posibilidad de ser precintable.

- La puerta o división interior, debe poseer una pequeña ventana para tener acceso al dispositivo de reseteo de la demanda y puerto óptico del medidor, esta deberá ser precintable.
- Ventana en puerta principal (exterior), que permita la visualización clara hacia el interior del gabinete y lectura del medidor.
- Chapa principal con llave estándar de barra y accesorio de seguridad que permita la colocación de precinto de seguridad.
- Poseer la opción de montaje en pared y poste.
- La distancia entre el armario de medida y los transformadores de medición no debe exceder de 5,00 metros.

2.7.6.4. Canalización del *rack* de medición

La canalización del secundario de los transformadores de medición al armario de medida, debe realizarse con tubería tipo BXLT (Liquid Tight) de una pulgada de diámetro, con conectores rectos tipo BXLT. Ver en anexos detalle en plano.

2.7.6.5. Conexión en media tensión transformadores de corriente (Ct's)

Deben quedar conectados de tal forma que el cable de alimentación salga del porta-fusible al CT por el borne P1 y salga por el borne P2 hacia línea de media tensión. La conexión del cable con el borne del transformador deberá ser de forma directa, utilizando terminal tipo ojo de entallar, conectada al borne del transformador con tornillo y tuerca. La conexión debe encintarse para su protección con cinta vulcanizadora. Ver en anexos detalle en plano.

2.7.6.6. Conexión en media tensión transformadores de voltaje (Pt's)

Deben quedar conectados de tal forma que el borne P1 se conecte mediante un puente en paralelo con el borne P1 del transformador de corriente; el borne P2 del transformador de voltaje será el punto neutro. La conexión del cable con el borne del transformador debe hacerse de forma directa. Las terminales del transformador deberán quedar protegidas utilizando cinta vulcanizadora. Ver en anexos detalle en plano.

2.7.7. Protección

Se incluirá además como protección los siguientes componentes.

2.7.7.1. Corta circuito

Debe instalarse un cortacircuito en cada fase antes del banco de medición. Se debe instalar un fusible tipo T, menor o igual a la capacidad del transformador de corriente, nunca mayor.

2.7.7.2. Pararrayos

Debe instalarse un pararrayo en cada fase antes de cada cortacircuito. Para redes de 13,8 kV se usará un pararrayo de distribución con resistencia variable, con dispositivo de desconexión a tierra, tensión nominal 9 kV, corriente de descarga 10 kA. Para redes de 34,5 kV se usará un pararrayo de distribución con resistencia variable, con dispositivo de desconexión a tierra, tensión nominal 27 kV, corriente de descarga 10 kA.

2.7.7.3. Tierra física

Se deben aterrizar el armario de medida, la estructura metálica del rack, los transformadores de medida. Para el efecto debe instalarse una o más varillas con un diámetro de 5/8 de pulgada y longitud de 8; la varilla deberá ser galvanizada recubierta de cobre. La conexión de la tierra física debe hacerse por medio de un cable de cobre desnudo o con forro de color verde calibre mínimo 4 AWG. La conexión del cable de tierra a la varilla de tierra puede hacerse por medio mecánico o térmico, Mecánico: por medio de una mordaza de bronce. Térmico: por medio de soldadura exotérmica (recomendado).

2.7.8. Documentación

Antes de iniciar la construcción el cliente deberá solicitar un Dictamen de medida a DEOCSA-DEORSA, para el efecto deberá presentar la siguiente documentación:

- Información de la potencia instalada y contratada, cargas de diseño.
- Diagrama unifilar.
- Plano de localización del proyecto.
- Plano de planta acotada en el que se indique la ubicación del centro de transformación y de la medida.
- Especificación técnica de los elementos de medida, conductores, bornera de comprobación, protecciones y tipo de gabinete de medición.
- Formulario de solicitud de dictamen.

Toda la documentación mencionada anteriormente deberá presentarse a la Unidad de tecnología de la medida de DEOCSA-DEORSA.

2.7.9. Tablas

Deben de considerarse las siguientes especificaciones, indicadas en las tablas para el caso del código de colores en los transformadores de medida y valores de fusible, CT y PT.

Tabla XXXI. **Código de colores en transformadores de media tensión**

Línea	Color
fase 1	negro
fase 2	gris
fase 3	marrón
tierra	amarillo/verde

Fuente: Código: ES.2166.GT-TM DEORSA-DEOCSA

Tabla XXXII. **Valores de fusible para CT y PT**

Potencia Instalada	Potencia Mínima a Contratar	Potencia Máxima a Contratar	13,8/7,97 kV.			34,5/19,94 kV.		
			Clase 0.3			Clase 0.3		
			Fusible*	CT 12.5 VA	PT 75 VA	Fusible*	CT 22.5 VA	PT 75 VA
kVA	kW	kW						
150	90	150	10	10/5	7620/120	3	5/5	20125/115
225	135	225	10	10/5	7620/120	4	5/5	20125/115
300	180	300	15	15/5	7620/120	6	10/5	20125/115
450	270	450	20	20/5	7620/120	8	10/5	20125/115
500	300	500	25	25/5	7620/120	10	10/5	20125/115
750	450	750	30	30/5	7620/120	15	15/5	20125/115
1000	600	1000	50	50/5	7260/120	20	20/5	20125/115

Fuente: Código: ES.2166.GT-TM DEORSA-DEOCSA.

*se consideró fusible tipo T.

Para suministros con potencias instaladas mayor de 1 000 kVA (1 MVA), deberá de enviarse la solicitud e información al departamento técnico de DEOCSA-DEORSA, para estudio específico.

2.7.10. Regulación de frecuencia

La frecuencia nominal del Sistema Nacional Interconectado, según disposición del Administrador de Mercados de mayoristas (AMM), especificada en la norma de coordinación Operativa número 4, es de 60 Hz, y en tanto la Comisión Nacional de Energía Eléctrica no defina estos valores los límites serán, en condiciones normales 59,9 Hz y 60,1 Hz, en condiciones de emergencia 59,8 Hz y 60,2 Hz.

2.8. Diagrama unifilar conexión gdr al sistema nacional interconectado

En los anexos se muestra el plano de fina de conexión, del sistema de generación de energía renovable, cumpliendo con las normas descritas anteriormente, así mismo, se describe cada componente y norma aplicada de acuerdo a las disposiciones de ,DEORSA/DEOCSA, Administrador de Mercados de Mayorista y Comisión Nación de Energía Eléctrica.

Normas de seguridad industrial que deberán observarse para la operación de la planta de tratamiento, producción de biogás y generación de energía eléctrica.

La seguridad industrial es el sistema de disposiciones obligatorias que tienen por objeto la prevención y limitación de riesgos, así como la protección

contra accidentes capaces de producir daños a las personas, a los bienes o al medio ambiente derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones o equipos y de la producción, uso o consumo, almacenamiento o rehecho de los productos industriales.

A esta unidad administrativa le corresponde efectuar el control y seguimiento del cumplimiento reglamentario de los productos e instalaciones que forman parte de sus áreas de actuación.

2.8.1. Normas de seguridad planta de tratamiento y producción de biogás

Aunque no existe una ley vigente como tal y que rijan las operaciones de las plantas de producción y uso de biogás, se han incorporado normas de otros procesos ya establecidos, y que pueden fácilmente aplicarse en el tema de seguridad industrial.

2.8.1.1. Tipos de riesgo

Toxicidad y grado de inflamabilidad de gases – metano [CH₄], altamente inflamable y asfixiante simple; Dióxido de carbono [CO₂], asfixiante simple; sulfuro de hidrógeno [H₂S], asfixiante químico; amoníaco [NH₃], irritante; monóxido de carbono [CO], asfixiante simple.

2.8.1.2. Situaciones peligrosas

Fugas de efluentes orgánicos y de gases, atmósferas peligrosas y explosivas, riesgos mecánicos, eléctricos, de ruido y calor, de conducta inadecuada y de eventos naturales.

2.8.1.3. Cadena de seguridad

Análisis y evaluación de riesgo, medidas técnicas de seguridad, materiales, gasómetro, tuberías de biogás, motor de cogeneración – CHP, antorchas, automatización y control de instalaciones eléctricas.

2.8.1.4. Medidas organizacionales de seguridad

Proyecto de combate de incendios y señalización.

2.8.1.5. Plan de contingencia y emergencia

El plan de contingencia y emergencia se detalla en los manuales.

2.8.1.6. Protecciones individuales de seguridad

Protección de manos, pies, facial, ocular, auricular, corporal y respiratoria. Uniformes para operación, equipos auxiliares, equipos de ventilación y extracción y equipos de protección colectiva.

2.8.1.7. Medidas de seguridad operacional

Documentos obligatorios, rutina operacional y manejo de sustratos.

2.8.1.8. Protección contra fuegos repentinos

En el 2000, la Asociación Nacional de Protección contra Incendios desarrolló la norma NFPA 2112, una normativa industrial sobre prendas resistentes al fuego para la protección del personal industrial contra fuegos repentinos. La NFPA 2112 ofrece criterios de desempeño mínimos y establece directivas claras para realizar pruebas en maniquíes instrumentados para mediciones térmicas.

La norma exige que la prueba de incendio repentino se realice durante tres segundos con una tasa de aprobación/reprobación del 50 % de quemadura corporal total, de acuerdo con los protocolos de prueba ASTM F1930 (Método de prueba estándar para la evaluación de la indumentaria resistente al fuego para la protección contra simulaciones de fuego repentino mediante el uso de maniquíes instrumentados).

Los fuegos repentinos tienen un flujo de calor de aproximadamente 84kW/m^2 y, por lo general, duran menos de tres segundos. Utilizar indumentaria ignífuga que extinga de manera automática el fuego puede brindar a los trabajadores el tiempo que necesitan para escapar de un fuego repentino y reducir considerablemente las lesiones por quemadura.

Por lo tanto mientras se realicen trabajos, de mantenimiento como por ejemplo: reparaciones de fugas, en el área del biodigestor, tuberías de conducción de biogás, motor de combustión interna y dado que se tiene biogás almacenado, se procederá al uso de un traje confeccionado con tela que brinde la protección requerida.

Figura 30. **Overol y equipo de respiración**



Fuente: Weftec, Chicago 2017.

2.8.1.9. Controles de exposición y protección personal a gases

Lo más importante siempre será la protección de las personas, aún sobre los equipos, la vida de un ser humano es más importante, por lo tanto y dado que trabajamos con un gas, debemos siempre atender las siguientes recomendaciones.

2.8.1.10. Controles de ingeniería

Ventilación: para la manipulación de este gas se debe proveer ventilación mecánica a prueba de explosión. Equipos de detección: utilizar sistemas de

detección de gases diseñados de acuerdo con las necesidades. Rango recomendado del instrumento 0 – 100 % LEL.

Figura 31. **Medidor portátil de sulfuro de hidrógeno**



Fuente: Weftec, Chicago 2017.

Este equipo es portátil, y el operario puede colocárselo en la cintura, al momento de detectar presencia de gas metano a más de 10 ppm y ácido sulfhídrico a más de 100 ppm, emitirá una alarma la cual deberá de ser tomada en cuenta por el operario para tomar la medidas precautorias correspondientes.

2.8.1.11. Protección respiratoria

Usar protección respiratoria como equipo de respiración auto-contenido (SCBA) o máscaras con mangueras de aire o de presión directa, si el nivel de oxígeno está por debajo del 19,5 % o durante emergencias de un escape del gas. Los purificadores de aire no proveen suficiente protección.

Figura 32. **Equipo de protección respiratoria de emergencia**



Fuente: Weftec, Chicago 2017.

2.8.1.12. Equipos para detección de fugas de gases

Las revisiones constantes en el biodigestor tuberías de conducción, válvulas, cámara de combustión del motor, ayudarán a prevenir cualquier siniestro y actuar a tiempo para no poner en riesgo la vida de quienes operan el proyecto, y equipos, existe una gran gama de equipos de detección que son portátiles y de fácil manejo.

Figura 33. **Detector de gas metano**



Fuente: Weftec, Chicago 2017.

2.8.2. Normas de seguridad generación de energía eléctrica

Actualmente existen varias organizaciones que promueven la seguridad eléctrica para los trabajadores, a la fecha existen más 22 000 normas nacionales aceptadas. Las organizaciones de desarrollo de normas (SDO) que se enfocan a la seguridad eléctrica incluyen:

- Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI).
- Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA).
- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).
- Underwriters Laboratories (UL).
- Administración de Seguridad y Salud. Ocupacionales (OSHA) de Estados Unidos
- Asociación Nacional de Contratistas Eléctricos (NECA)
- Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA)

Observe que estas SDO generalmente tienen su sede en los Estados Unidos y un enfoque principalmente norteamericano. Cada una de estas SDO escribe y publica normas dirigidas a diversas cuestiones de seguridad eléctrica. Como se mencionó al principio, algunas normas están hechas para ser adoptadas por organizaciones gubernamentales. Sin embargo, las normas aceptadas desarrolladas por las SDO y que no son adoptadas por organizaciones gubernamentales, pueden ser utilizadas en un juicio.

La NFPA 70 (Código eléctrico Nacional – NEC), es llamada comúnmente Código eléctrico nacional, o NEC, y actualmente es reconocida por más de 1800 organizaciones gubernamentales en los Estados Unidos y también por varios países latinoamericanos, el NEC tiene como fin identificar los requisitos para controlar la probabilidad de incendios eléctricos y permitir instalaciones seguras cuando el sistema o equipo están funcionando normalmente, no obstante el NEC es propuesto como una norma mínima y, por lo tanto sus requisitos a veces deben ser rebasados para satisfacer las necesidades de operación, sondear los juicios de ingeniería y mejorar la seguridad. El NEC es revisado y corregido cada tres años.

La NFPA 70E es la norma para los requisitos de seguridad eléctrica en el centro de trabajo. Esta norma se enfoca a proteger a los trabajadores e identifica los requisitos necesarios para lograr un centro de trabajo libre de riesgos eléctricos. La Norma NFPA 70E tiene por objeto centrarse en las condiciones que existen, o puedan existir, y las condiciones anormales donde los trabajadores pueden resultar involucrados. La norma NFPA 70E establece lo siguiente:

- Los riesgos eléctricos incluyen choque eléctrico, arco con destello y arco con descarga.

- La mejor manera de evitar lesiones o accidentes es establecer una condición de trabajo eléctricamente segura antes de iniciar la tarea.
- Los procedimientos y la capacitación son muy importantes en la prevención de lesiones

La Secretaría de Trabajo de los Estados Unidos ha escrito las Normas OSHA bajo el título 29 del Código de Reglamentos Federales (CFR), estableciéndolas como requisitos para las instalaciones eléctricas y las prácticas y costumbres eléctricamente seguras. La parte 1910 de la Norma 29 del CFR trata de la industria en general, mientras que la Parte 1926 cubre la industria de la construcción. Cada parte está subdividida en subpartes; a su vez, cada subparte está dividida en párrafos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XXXIII. **Normas OSHA para trabajo eléctrico**

Norma	OSHA	Título	Indice
1910,7		Laboratorios de Pruebas Nacionales	NRTL
1910,37		Equipo de Protección Personal Eléctrico	Productos de protección con diferentes rangos de voltaje
1910.147 1910.333(b)(2)		Control de Energía Peligrosa	Bloqueo/etiquetado
1910,269		Generación de Energía, Transmisión y Deistribución	Distribución aérea y Subterránea
1910.300-399		Requisitos de Seguridad Eléctrica	Industria en general
1926.400-449		Requisitos de Seguridad Eléctrica	Construcción

Fuente, Manual de seguridad eléctrica, Cooper Bussmann.

En cuanto a las regulaciones de las Normas OSHA y la NFPA 70E, en la relación a la seguridad eléctrica en el centro de trabajo, se dice que la Norma OSHA es el debe y la NFPA 70E es el como. De tal manera que las regulaciones OSHA que son una ley federal y deben de ser cumplidas, están escritas y orientadas al cumplimiento de la norma, pero no indican cómo debe de cumplirse, mientras que la NFPA 70E es la herramienta que describe la manera en que puede cumplirse la OSHA en relación al cumplimiento de la norma.

Ahora bien el Código Nacional de Seguridad Eléctrica (NESC) es un estándar ANSI, que es escrito y publicado por el IEEE, esta norma está hecha para identificar los requisitos aplicables al equipo y sistemas exteriores de comunicación, distribución y transmisión de energía eléctrica, y las formas de trabajo asociadas, a diferencia del cableado de la propiedad, el cual se trata en el NEC. El NESC es la norma que la OSHA tomó como base para escribir el CRF 29 1910.269.

Mientras que la NFPA 70B, trata sobre las prácticas recomendadas para el mantenimiento del equipo eléctrico, cuyo propósito es reducir los riesgos a la vida y a la propiedad que pueden resultar de una falla o mal funcionamiento de equipos y sistemas eléctricos comerciales e industriales. Junto con su guía de mantenimiento, también se refieren a la seguridad eléctrica.

La NEMA tiene normas sobre productos y sistemas eléctricos y a menudo han servido como base para las normas de seguridad de Underwriter Laboratories (UL), tanto las normas NEMA como las UL están diseñadas como normas de consenso general y son consideradas como requisitos mínimos.

Desde hace muchos años se ha tratado de contar con normas internacionales unificadas, el Sistema de normas de los Estados Unidos es fundamentalmente a base de voluntarios, y en algunos países los gobiernos o entidades solo ordenan adherencia al sistema de normas existente. Las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) representan un intento por alcanzar un consenso en los requisitos de las normas.

En muchos casos, los planes de protección adoptados por la IEC difieren de aquellos en los Estados Unidos, y con respecto a la seguridad del personal las normas IEC abordan la protección contra el choque eléctrico de forma más directa que las normas de los Estados Unidos.

Para realizar las maniobras de operación y mantenimiento del proyecto, se debe contar con el equipo de protección básico basado siempre en las normas ya indicadas y adoptadas por nuestro país.

2.8.2.1. Equipos de protección personal

Los riesgos eléctricos van más allá de la corriente que puede pasar por del cuerpo, por lo que también debe de considerarse al momento de planificarse actividades preventivas o de operación los siguientes riesgos:

- **Electrocución:** supone el contacto con un elemento en tensión. Se deberán tomar medidas para evitar el paso de corriente eléctrica a través del cuerpo del trabajador.
- **Quemaduras:** como consecuencia de un arco eléctrico provocado por un cortocircuito, el trabajador se expone a un nivel de energía térmica tal que puede provocarle quemaduras de consideración. El arco eléctrico es una descarga disruptiva en la cual la corriente eléctrica salta de un

elemento conductor en tensión a otro, o simplemente al suelo. El resultado es fenómeno que puede resultar extremadamente violento, cuya severidad está condicionada por factores como la proximidad del trabajador a la fuente, intensidad de corriente, el medio físico donde se produce o la forma y materiales de la instalación eléctrica. Los estudios y guías asociadas a la seguridad eléctrica, establecen la necesidad de evaluar el riesgo asociado al arco eléctrico en instalaciones donde existan tensiones superiores a 250 V.

- Explosión: la acumulación de cargas electrostáticas puede originar una chispa que, en caso de trabajar en atmósferas explosivas, puede dar lugar a una explosión.
- Otros riesgos: en este grupo, generalmente se incluyen los riesgos asociados a un arco eléctrico, como pueden ser ondas de choque, gases, radiaciones electromagnéticas, entre otros.

2.8.2.2. Protección de la cabeza

Los equipos de protección de cabeza radican básicamente, en los diferentes tipos de cascos que existen, y su elección dependerá del tipo de trabajo a realizar, los cascos que cumplen con los requisitos de este estándar se clasifican como el tipo I para la protección superior, o tipo II para la protección lateral del impacto. Ambos tipos se prueban para la atenuación del impacto y la resistencia de la penetración.

El requisito de funcionamiento del casco tipo II incluye los criterios para la atenuación de la energía de impactos de frente, de la parte posterior y de los lados, así como de la tapa (parte de arriba); resistencia excéntrica de la penetración, y retención de la correa de barbilla.

Las tres clases que indican el grado de aislamiento eléctrico de los cascos según la Norma ANSI Z89.1 ED 2003 son: los cascos tipo G (generales) se prueban en 2 200 voltios, la clase E (eléctrica) se prueban para soportar 20,000 voltios, y la clase C (conductora) no proporcionan ninguna protección eléctrica.

Figura 34. **Equipo de protección personal, cascos**



Fuente: Catálogo Elex.

2.8.2.3. Gafas con filtro uv

La norma estadounidense ANSI/ISEA Z87.1-2010 establece los criterios de desempeño y los requisitos de evaluación para los instrumentos usados para proteger los ojos y el rostro de lesiones causadas por impactos, radiación no ionizante y exposición a químicos en los lugares de trabajo. La evaluación específica que se incluye para los riesgos laborales son: impacto, radiación óptica, gotitas y salpicaduras, polvo y partículas finas de polvo.

Figura 35. **Equipo de protección personal, gafas**



Fuente: Lentes transparentes, oscuros INDOOR/OUTDOOR, Catalogo 3M.

2.8.2.4. Ropa de protección

La Norma IEC 61482-2:2009, define los requisitos para la ropa de protección para los trabajadores expuestos a posibles descargas de arco eléctrico. Pese a que esta Norma no es armonizada, es la única que define requisitos específicos para esta aplicación. Actualmente está en fase de revisión y se espera que en el futuro pueda ser norma armonizada. La ropa o sus materiales pueden ensayarse utilizando un arco eléctrico dirigido y constreñido, en cuyo caso la ropa se clasificará en ropa de clase protección 1 (ensayos con corriente de cortocircuito a 4kA) o ropa de clase de protección 2 (se ensaya con corriente de cortocircuito a 7kA). Además, la ropa o sus materiales también pueden ensayarse utilizando un arco eléctrico libre para determinar el factor ATPV, relacionado con la capacidad del material para absorber energía calorífica.

2.8.2.4.1. Escafandra

La escafandra en si está preparada para montarse directamente en un casco de seguridad estándar, tiene un babero de protección de 15 pulgadas

para protección adicional. Especificaciones adicionales: área de visión de 20 pulgadas, careta de policarbonato teñido tratado aprobado por ANSI Z87.1, 12cal/cm² y 40cal/cm².

Figura 36. **Equipo de protección personal, escafandra**



Fuente: Catálogo ropa para arco eléctrico, ENCON, p. 7.

2.9.2.4.2. Camisa

La camisa de manga larga es ideal para la protección del arco eléctrico en el cuerpo y brazos, además incluye las cintas reflectivas, 12cal/cm² y 40cal/cm².

Figura 37. **Equipo de protección personal, camisa**



Fuente: Catálogo ropa para arco eléctrico, ENCON.

2.8.2.4.3. Chaqueta corta 32"

La pieza que dicta la selección de un traje de arco eléctrico con chaqueta. La chaqueta corta es de 32 pulgadas de largo (al muslo). La chaqueta es sellada con un cierre de gancho y presilla, 12cal/cm² y 40cal/cm².

Figura 38. **Equipo de protección personal, chaqueta**



Fuente: Catálogo ropa para arco eléctrico, ENCON.

2.8.2.4.4. Pantalón de lona

El 100 % es de algodón americano en mezclilla Indura, con una protección de clasificación de arco de 18 ATPV calorías/ cm². Resistente a la flama, corte relajado con un diseño de 5 bolsas estilo jean. Prelavados para mayor comodidad. 12cal/cm² y 40cal/cm².

Figura 39. **Equipo de protección personal, pantalón**



Fuente: Catálogo ropa para arco eléctrico, ENCON.

2.8.2.4.5. Sobre pantalón

El sobre pantalón de Arco Eléctrico fue diseñado para una amplia gama de trabajadores, el elástico tunelizado en la cintura ayuda a tener un ajuste personalizado para una variedad de tallas de cinturas, cierre retardante a la flama de gancho y presilla en el tobillo, cintos ajustables para sellar la parte baja de la pierna, material de 88/12 de 9oz. Respirable y retardante a la flama por la vida útil de la prenda, 12cal/cm² y 40cal/cm².

Figura 40. **Equipo de protección personal, sobre pantalón**



Fuente: Catálogo ropa para arco eléctrico, ENCON.

2.8.2.4.6. Polainas

Las polainas son necesarias para complementar la gabardina larga y proteger la parte baja de las piernas. Estas polainas de 14 pulgadas están hechas para ajustarse alrededor del muslo. Están selladas en la parte trasera con un cierre de gancho y presilla, $12\text{cal}/\text{cm}^2$ y $40\text{cal}/\text{cm}^2$.

Figura 41. **Equipo de protección personal, polainas**

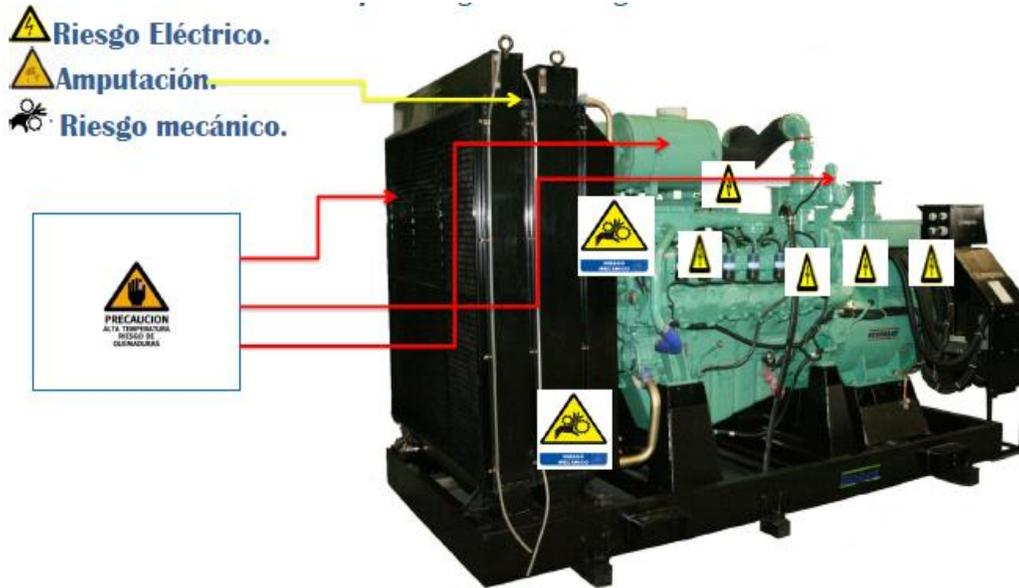


Fuente: Catálogo ropa para arco eléctrico, ENCON.

2.8.2.5. Mapa de seguridad del motogenerador

Es importante conocer las zonas de riesgo, para tomar las consideraciones necesarias y medidas de seguridad industrial, tanto durante la operación como en el mantenimiento del equipo.

Figura 42. Zonas de riesgo, generador 250 Kw.

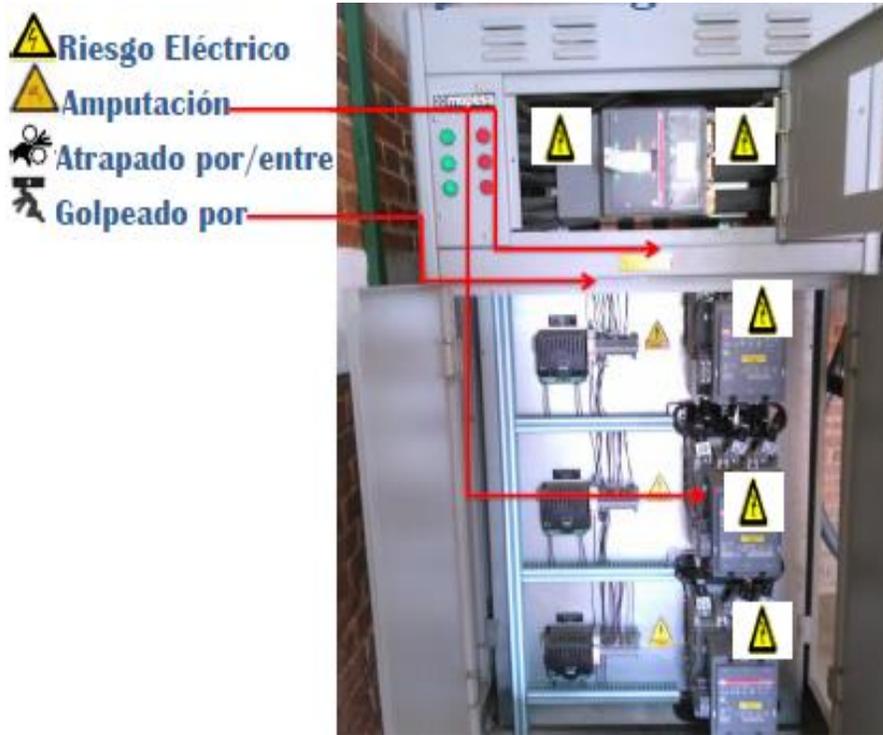


Fuente: elaboración propia.

2.8.2.6. Mapa de seguridad equipos eléctricos

Es importante conocer el mapa de seguridad en la operación de los equipos eléctricos, de tal forma que podamos anticiparse a cualquier accidente.

Figura 43. Zona de riegos, Bus



Fuente: elaboración propia.

3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO A IMPLEMENTAR

A continuación se evaluará el monto de la inversión, derivado de la implementación del proyecto descrito anteriormente, así como el retorno de inversión producto de la energía eléctrica generada, a diferencia de los sistemas de tratamiento convencionales, que solamente generan costos de operación y mantenimiento, este proyecto es autosostenible.

3.1. Evaluación financiera para implementación de la planta de tratamiento de basura orgánica y aguas residuales

Lo que se describe a continuación, son los costos por cada unidad o componente del proyecto, previo a un cálculo de materiales, mano de obra, uso de maquinaria, compra de equipos, puesta en marcha y funcionamiento del proyecto. Así como del beneficio económico derivado del aprovechamiento del biogás en generación de energía eléctrica, para ello se utilizará las herramientas financieras del valor Actual neto (VAN), tasa interna de recuperación (TIR) y período de recuperación de la inversión (PRI).

3.2. Presupuesto implementación

Es el capital que necesitamos para desarrollar el proyecto, el cual se distribuye de la siguiente manera:

Tabla XXXIV. Descripción y monto por implementación del proyecto

	DESCRIPCIÓN	MONTO Q
1	Generales	
1.1	Limpieza de terreno y movimiento de tierras	Q 600 000,00
1.2	Bodega	Q 5 000,00
1.3	Servicios sanitarios	Q 36 000,00
1.4	Supervisión	Q 70 000,00
	Total de generales	Q 711 000,00
2	Planta de tratamiento	
2.1	Caja de demasías 45 Mts ³	Q 60 000,00
2.2	Canal de rejas 12 Mts ³	Q 25 000,00
2.3	Canal desarenador 55 Mts ³	Q 70 000,00
2.4	Rampa para descarga de desechos	Q 50 000,00
2.5	Tanque de captación o cárcamo 240 Mts ³	Q 550 000,00
2.6	Biodigestores de 19,260 Mts ³ cada uno (total 2)	Q 11 324 880,00
2.7	Clarificador 510 Mts ³	Q 475 000,00
2.8	Clorador y tanque de contacto 54 Mts ³	Q 65 000,00
2.9	Laguna secundaria 6,445 Mts ³	Q 940 970,00
	Total planta de tratamiento	Q 13 560 850,00
3	Equipos auxiliares	
3.1	Bomba 5.5 Hp tanque de captación 440 v. (2)	Q 30 000,00
3.2	Bomba 3 Hp clarificador 440 v. (2)	Q 27 000,00
3.3	Bomba de agitación y recirculación 10 hp 440 v. (2)	Q 20 000,00
3.4	Equipos eléctricos de protección e instalación eléctrica	Q 20 000,00

Continuación de la tabla XXXIV.

		Total Equipos auxiliares	Q	97 000,00
4	Sistema de Generación de energía eléctrica			
	4.1	Motogenerador 250 Kw, 480v	Q	1 470 000,00
	4.2	Filtro deshumidificador	Q	20 000,00
	4.3	Soplador 3 Hp 480 v.	Q	20 000,00
	4.4	Variador de frecuencia para soplador 3Hp	Q	7 500,00
	4.5	Tablero de transferencias y sincronía	Q	20 000,00
	4.6	Instalación de motogenerador y equipos	Q	10 000,00
	4.7	Tubería de biogás y sistema de trampeo de agua	Q	5 000,00
	4.8	Caseta de generación de energía	Q	70 000,00
		Total sistema generación de energía eléctrica	Q	1 622 500,00

Costo total por implementación del proyecto Q 15 991 350,00

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Determinación del monto en quetzales por energía generada

La evaluación se realiza a partir de consumir la energía, en un sector determinado del departamento de Jutiapa, no venderla al mercado al precio spot, debido al precio tan bajo que ha tenido en el último año, por el contrario se realiza el cálculo con una tarifa baja tensión simple (BTS), la cual utilizando el simulador en la página de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) da la siguiente cantidad.

Figura 44. Simulación costo energía generada

DETALLE DE CARGOS	Precios	Consumo kWh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario	17.057604		17.06
Costo de energía kWh	1.704858	150000 kWh	255,728.70
(a)Aporte tarifa social INDE	No Aplica	0 kWh	0.00
Total Consumo kWh		150000 kWh	0.00
Total Cargo			255,745.76
Total IVA			30,689.49
(b)Servicio alumbrado publico			0.00
Redondeo mes anterior			0.00
Ajuste por redondeo			-0.25
(c)TOTAL A PAGAR			286,435.00

Por lo tanto por concepto de generación tendremos, Q 286 435,00 mensuales

Fuente: www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php.

3.2.2. Determinación del monto en Quetzales por cobro de agua tratada, y desechos sólidos orgánicos recibidos

La ley le permite a las municipalidad al momento de ejecutar su plantas de tratamientos, cobrar por el agua y saneamiento que se hace a los vecinos, ya que le objetivo el sanear los ríos, por lo tanto en la cabecera Departamental de Jutiapa se cuenta con 8369 viviendas registradas, y si se asume un cobro de Q10.00 por vivienda por concepto de tratamiento de aguas residuales, y Q10,00 por concepto de recepción de basura orgánica se tendrán los siguientes ingresos.

Tabla XXXV. **Ingresos por cobro tratamiento aguas residuales y materia orgánica**

	Número viviendas	Monto	Total
Agua residual	8,369	Q10,00	Q 83 690,00
Desechos sólidos	8,369	Q10,00	Q 83 690,00
TOTAL			Q 167 380,00

Fuente: elaboración propia.

De igual forma que la energía se puede obtener por tratamiento de las aguas residuales y desechos sólidos orgánicos Q 167 280,00 mensuales.

3.2.3. Cálculo de la depreciación y el valor en libros

Los valor para ese cálculo se obtienen de la ley de impuesto sobre la renta, de la república de Guatemala, capítulo 19 incisos a y d. En donde se estipula un 20 % de depreciación anual a la maquinaria y equipo y 5 % a la infraestructura.

Tabla XXXVI. **Depreciación del equipo e infraestructura**

	% anual	Costo Inicial	Depreciación
Equipos	20 %	Q 1 719 500,00	Q 343 900,00
Infraestructura	5 %	Q 14 271 850,00	Q 713 592,50
Total			Q 1 057 492,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Valor en libros de los equipos e infraestructura**

	Valor Inicial	Depreciación a 5 años	Valor en Libros 5 años
Equipos	Q 1 719 500,00	Q 1 719 500,00	Q -
Infraestructura	Q 14 271 850,00	Q 3 567 962,50	Q 10 703 887,50
Total			Q 10 703 887,50

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto la depreciación anual será de Q1 057 492,50 y el valor en libros luego de 5 años es de Q10 703 887.50

3.2.4. **Determinación del flujo de fondos proyectado**

En este apartado incluiremos todos los costos por concepto de mantenimiento y operación de la planta de tratamiento y generación de energía eléctrica, los cuales ya fueron desglosados en los capítulos anteriores y se resumen en la tabla XXXVIII.

Tabla XXXVIII. **Costo de operación anuales**

Mantto GEE	Q 233 740,00	Anual
Operador	Q 91 040,00	Anual
Costo EE Equipos	Q 150 924,00	Anual
Total	Q 475 704,00	Anual

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto la planta de tratamiento necesitara Q 475 704,00 para su funcionamiento y mantenimiento anual.

Tabla XXXIX. **Flujo de fondos del primer año de operación cifras en miles de quetzales**

CONCEPTO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Inversión	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ingresos													
Venta de Energía	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	286.44	3,437.22
Saneamiento agua	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	1,004.28
Basura orgánica	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	83.69	1,004.28
Ingreso	453.82	5,445.78											
Ingreso Neto	453.82	5,445.78											
Egresos													
Costo directo prod.	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	39.64	475.70
Depreciación	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	88.12	1,057.49
Total Egresos	127.77	1,533.20											
Utilidad Bruta	326.05	3,912.58											
Utilidad Neta	326.05	3,912.58											
(+) Depreciación	88.12	1,057.49											
Flujo de fondos	414.17	4,970.08											

Fuente: Dirección Municipal de Planificación.

El cuadro describe de manera detallada el flujo de fondos del primer año de operación del proyecto, no se toman en cuenta las tasas impositivas, debido a que según decreto 52-2003, Ley de Incentivos para el Desarrollo de

Proyectos de Energía Renovable, los proyectos de energía renovable están exceptos.

Tabla XL. **Flujo de fondos proyectado a 5 años cifras en miles de quetzales**

Concepto	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6
Inversión						
Infraestructura	-14,271.9					
Equipo	-1,719.5					
Ingresos						
Venta de Energía		3,437.2	3,437.2	3,437.2	3,437.2	3,437.2
Saneamiento agua		1,004.3	1,004.3	1,004.3	1,004.3	1,004.3
Basura orgánica		1,004.3	1,004.3	1,004.3	1,004.3	1,004.3
Ingreso		5,445.8	5,445.8	5,445.8	5,445.8	5,445.8
Ingreso Neto		5,445.8	5,445.8	5,445.8	5,445.8	5,445.8
Egresos						
Costo directo Prod.		475.7	475.7	475.7	475.7	475.7
Depreciación		1,057.5	1,057.5	1,057.5	1,057.5	1,057.5
Total Egresos		1,533.2	1,533.2	1,533.2	1,533.2	1,533.2
Utilidad bruta		3,912.6	3,912.6	3,912.6	3,912.6	3,912.6
Utilidad Neta		3,912.6	3,912.6	3,912.6	3,912.6	3,912.6
(+) Depreciación		1,057.5	1,057.5	1,057.5	1,057.5	1,057.5
Flujo de fondos	-15,991.4	4,970.1	4,970.1	4,970.1	4,970.1	4,970.1
Flujo descontado (TIR)	0.0	4,321.8	3,758.1	3,267.9	2,841.7	2,471.0

Fuente: Dirección Municipal de Planificación.

Con esta información se procederá a trabajar el VAN, TIR Y PRI.

3.2.5. Tasa de rendimiento

Para el presente caso, la conforma la tasa de interés a la cual la entidad prestará el dinero para ejecutar el proyecto, las municipales por medio del Instituto de Fomento Municipal, INFOM, se les otorgó una tasa del 10 %, y de acuerdo con el Banco de Guatemala, la tasa de inflación del 2017 estuvo en 5 % por lo tanto, la tasa de rendimiento quedará conformado de la siguiente manera.

Tabla XLI. **Estimación de la tasa de rendimiento**

Tasa interés	10 %
Tasa inflación	5 %
Tasa riesgo del proy.	0 %
Total	15 %

Fuente: elaboración propia.

3.2.6. Estimación de los indicadores financiero

Estos indicadores son útiles para la toma decisiones en cualquier evaluación e implementación de proyectos.

3.2.7. Valor actual neto

Según el criterio de aceptación el VAN será mayor a 0, para que el proyecto pueda aceptarse.

Tabla XLII. **Cálculo del valor actual neto, VAN, cifras en miles de quetzales**

Flujo de fondos	-15 991,35	4 970,08	4 970,08	4 970,08	4 970,08	4 970,08
Flujo descontado	-15 991,35	4 321,81	3 758,09	3 267,91	2 841,66	2 471,01
Suma de valores Actuales	16 660,47					
VAN	669,12					

Fuente: elaboración propia.

A una tasa de rendimiento del 15 % el proyecto permite que obtengamos un valor presente de Q 669 120,00 por lo tanto el proyecto es aceptable. De tal manera el proyecto se recupera y produce un rendimiento para la municipalidad.

Tabla XLIII. **Fórmula empleada para el cálculo del VAN, cifras en miles de quetzales**

Periodos	0	1	2	3	4	5
Flujo de Fondos	-15 991,35	4 970,08	4 970,08	4 970,08	4 970,08	4 970,08

Nro.	FNE	(1+i)^	FNE/(1+i)^
0	-15,991.350		-15 991,4
1	4,970	1,15	4 321,8
2	4,970	1,32	3 758,1
3	4,970	1,52	3 267,9
4	4,970	1,75	2 841,7
5	4,970	2,01	2 471,0
6	0,00	2,31	0,0
7	0,00	2,66	0,0
8	0,00	3,06	0,0
9	0,00	3,52	0,0
10	0,00	4,05	0,0
Total			669.1

Fuente: elaboración propia.

3.2.7.1. Tasa interna de retorno

El cálculo de la tasa interna de retorno se detalla en la tabla XLIV.

Tabla XLIV. **Cálculo de la TIR, cifras en miles de quetzales**

Flujo de fondos	-15 991,4	4 970,1	497,01	4 970,1	4 970,1	4 970,1
Flujo descontado a tasa de 16,7539 %	-15 991,4	4 256,9	3 646,0	3 122,8	2 674,7	2 290,9
Suma de valores Actuales	15 991,3					
VAN	0,0					

Fuente: elaboración propia.

La tasa interna de retorno a la cual nuestro valor presente se hace 0 es de 16,7539 %, la cual está por encima de la tasa de rendimiento por 1,7539 %, por lo que la inversión no solo cumplirá con el manejo de los desechos sólidos orgánicos, aguas residuales y generación de energía eléctrica, sino que además garantiza la buena inversión del capital.

3.2.7.2 Período de recuperación de la inversión

El período de recuperación de la inversión, se describe en la tabla XLV.

Tabla XLV. **Cálculo del período de recuperación de la inversión, PRI**
cifras en miles de quetzales

AÑO	1	2	3	4	5
Flujo descontado	4 321,81	3 758,09	3 267,91	2 841,66	2 471,01
Capital recuperado en 4 años			14 189,46		
Capital invertido			15 991,35		
Capital por recuperar el quinto año			1 801,89		
Porcentaje del cuarto año			8,75		
Período de recuperación del capital			4,875		

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto luego de invertir Q 15 991,35 de capital, este será recuperado en un tiempo de 4,875 años, es decir 4 años con 8 meses y 23 días.

3.3. Planos del proyecto

En general se describe los componentes y medidas, por áreas que tendrá cada etapa del proyecto, con forme a las disposiciones de diseño, leyes y reglamentos.

3.3.1. Planta de tratamiento

- 01 Plano de distribución
- 02 Plano de acotado
- 03 Plano de cortes
- 04 Plano de cortes secundarios
- 05 Plano 3D caseta y generador eléctrico
- 06 Plano 3D vistas ingreso agua residual y desechos sólidos orgánicos

- 07 Plano 3D vistas biodigestor, laguna secundaria, áreas complementarias.
- 08 Plano 3D clarificador, clorador, tanque activación, laguna secundaria

3.3.2. Instalación eléctrica generador de energía eléctrica

- 01 Detalle de construcción *rack* de medición montado en poste para suministros mayores a 150KVA EN 13,8 Kv.
- 02 Acometida subterránea con medición en poste, para suministro mayores a 150KVA EN 13,8 Kv
- 03 Detalle de construcción de *rack* de medición montado en poste para suministros mayores a 150KVA EN 13,8 Kv.
- 04 Detalle de construcción de *rack* de medición tipo H, para suministros mayores a 150KVA EN 13,8 Kv.
- 05 Detalle de construcción de *rack* de medición en poste para suministros mayores a 150KVA EN 13,8 Kv.
- 06 Detalle de construcción de *rack* de medición en poste para suministros mayores a 150KVA EN 13,8 Kv.
- 07 Detalle de construcción de *rack* de medición en poste para suministros mayores a 150KVA EN 13,8 Kv.
- 08 Forma de cablear y conectar la medición secundaria en media tensión.
- 09 Diagrama unifilar, conexión GDR a sistema nacional interconectado.

CONCLUSIONES

1. La propuesta y estudio de este Ejercicio Profesional Supervisado, obedecen a 15 años de investigación y desarrollo propio, con 16 proyectos desarrollados y una potencia instalada en generación de energía eléctrica con biogás de 1,1 Mw.
2. Es posible proponer un sistema confiable para el tratamiento de las aguas residuales y desechos sólidos orgánicos que salga de los sistemas tradicionales usados hasta el día de hoy en Guatemala.
3. Con las nuevas regulaciones de ley en materia de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos, las municipalidades no han invertido en el cumplimiento de dichas regulaciones, debido al costo de inversión de los sistemas convencionales de tratamiento, y las pocas que lo hacen terminan abandonándolos debido a su costo de operación.
4. El sistema propuesto, a diferencia de los sistemas convencionales de tratamiento, de aguas residuales y desechos sólidos orgánicos, puede producir energía eléctrica para auto consumo, por lo tanto se habla de un sistema autosostenible y amigable con el medio ambiente.
5. A diferencia de los sistemas convencionales de tratamiento de agua residual por aireación extendida, el sistema de biodigestión permite ahorrar hasta un 85 % del consumo de energía eléctrica.

6. El sistema de biodigestión permite, capturar el gas metano 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono, lo que hace el proyecto candidato para fuentes de financiamiento externas, pues contribuye a disminuir los gases de efecto invernadero, que a su vez es causante del cambio climático.
7. Debido a las características del sistema de tratamiento y la generación de energía eléctrica, el capital de inversión puede ser recuperado en período de 4 años 8 meses y 23 días, por lo que se puede hablar de una fuente de ingresos para la municipalidad de hasta 1 962 160 millones de quetzales por año, luego del plazo indicado.
8. Es interesante que debido a la poca explotación de este tipo de proyectos de energía renovable, no existe una regulación como tal en materia de seguridad industrial, y los países como Alemania, Suiza, España, lo que han hecho es adaptar normas de otras instituciones que puedan aplicarse a este tipo de proyectos.
9. Actualmente en Guatemala se cuenta con 1,12 Mw instalados, de generación de energía eléctrica a través de biogás, de procesos como: Granjas de cerdos, arroz, maíz, lecherías, desechos sólidos de frutas y verduras.
10. Las ventajas de los motogeneradores planteados, es que a diferencia de los sistemas europeos, esto no necesitan un tren de limpieza para el biogás, lo que los hace más rentables en relación al costo de operación.
11. Un proyecto de generación de energía, de este tipo es más rentable si la energía eléctrica generada se utiliza, para autoconsumo y en

sustitución de algún proceso que actualmente se encuentre conectado a una empresa de servicio eléctrico nacional.

12. Es necesario legislar más en favor de las energías renovables, específicamente en el caso del biogás, producido a través de desechos orgánicos sólidos, como por ejemplo el de las granjas de cerdos, aves, ganado lechero, ya que en Guatemala existe un potencial muy alto para desarrollar est tipo de energía.
13. No existe un reglamento propio a nivel nacional, que rijan en cuanto a seguridad industrial en las plantas de biogás por desechos sólidos orgánicos, por lo tanto se hace necesario la elaboración de uno que nos permita operar con seguridad.

RECOMENDACIONES

1. Por lo tanto este tipo de proyecto, podrá aplicarse para aquellos casos, en los que se tengamos aguas de procesos agrícolas, industriales, pecuarias con altas cargas orgánicas, DBO Y DQO, entiéndase, granjas de animales, desechos sólidos orgánicos como: frutas y vegetales, comida, entre otros, plantas de palma africana, rastros o mataderos, centros comerciales, fábricas de arroz, harina de maíz, refrescos carbonatados, entre otros.

2. Si el proyecto es para funcionar como generador distribuido renovable, deberán atenderse las siguientes normativas deberán de atenderse,
 - Constitución Política de la República de Guatemala.
 - Ley General de Electricidad (Decreto No. 93-96).
 - Reglamento de la Ley General de Electricidad (Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y sus reformas).
 - Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (Acuerdo Gubernativo No. 299-98 y sus reformas).
 - Norma Técnica de Generación Distribuida Renovable y Usuarios Autoproductores con Excedentes de Energía. NTGDR
 - NTGDR-(Resolución CNEE-227-2014).
 - Normas Técnicas del Servicio de Distribución - NTSD- (Resolución CNEE-09-99).
 - Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución –NTDOID- (Resolución CNEE-47-99).
 - Ley general de electrificación.

- Normas de Coordinación Comercial del administrador del mercado mayorista.
- Normas de Coordinación Operativa del administrador del mercado mayorista.
- Otras resoluciones afines de la CNEE.

BIBLIOGRAFÍA

1. Banco de Guatemala, Ritmo inflacionario años 1980-2017, [en línea]. <<http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/imm/imm03>>. [Consulta: febrero de 2018].
2. Biogás: Normas de seguridad que llevan a una oportunidad concreta para crecer, [en línea]. <<https://energiasolaraldia.com/biogas-normas-de-seguridad-que-llevan-a-una-oportunidad-concreta-para-crecer/>>. [Consulta: octubre de 2017].
3. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Pliegos tarifarios, [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>>. [Consulta: enero de 2018].
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Calcula tu tarifa, [en línea]. http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/facturas_bts.php. [Consulta: enero de 2018].
5. GAMMA Ingenieros S. A, Revisión normativa actual y norma técnica y de seguridad para instalaciones de biogás en la producción y el uso. [en línea]. <[http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/65.Informe%20Final%20\(1222\).pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/65.Informe%20Final%20(1222).pdf)>. [Consulta octubre de 2017].

6. GARCÍA LIMA, Antonio Gilherme. Generación térmica, [en línea]. <<http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>>. [Consulta: octubre de 2017].
7. Instituto de salud pública de Chile. Diferencias de protección entre los estándares NFPA 2112 Y NFPA 70E. [en línea]. <<http://www.ispch.cl/sites/default/files/Nota%20T%C3%A9cnica%20N%C2%B0%2041%20Diferencias%20de%20Protecci%C3%B3n%20entre%20los%20Est%C3%A1ndares%20NFPA%202112%20y%20NFPA%2070E.pdf>>. [Consulta: octubre de 2017].
8. Gobierno Vasco. La seguridad industrial, [en línea]. <<http://www.euskadi.eus/presentacion-seguridad-industrial/web01-a2indust/es/>>. [Consulta: octubre de 2017].
9. Luis Filippini, Manual de Seguridad Industrial Eléctrica, 2da edición, [consulta en línea]. <https://www.academia.edu/6789367/Manual_de_Seguridad_El%C3%A9ctrica_2_aEdici%C3%B3n>. [Consulta: octubre de 2017].
10. PRLaborales, Equipos de protección para trabajos en alta tensión, [Consulta en línea]. <<http://prlaborales.com/equipos-de-proteccion-alta-tension/>>. [Consulta: octubre de 2017].
11. Reglamento de seguridad para plantas terrestres, [en línea]. <http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/CONSULTA_PUBLICA/DOCUMENTO_BASE_PROYECTO_REGLAMENTO_BIOGAS_CONSULTA_PUBLICA_V1.PDF>. [Consulta: octubre de 2017].

APÉNDICE

Apéndice 1. Tablas valores de diseño

Cuadro 1. Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos, según Richter

Pocos Viscosos	Por gravedad	0,15 - 0,30
	Entrada Bomba	0,30 - 0,90
	Salida Bomba	1,20 - 3,00
	Línea de Conducción	1,2 - 2,40
Viscoso	Por gravedad	0,06 - 0,15
	Entrada Bomba	0,15 - 0,60

Cuadro 2. Parámetros de diseño para rejas de barras.

ÁREA PARA CANAL DE INGRESO

Q =	Caudal	0,0297	m ³ /s
V =	Velocidad de entrada al canal	0,6000	m/s
A =	Área de ingreso	0,0495	m ²

Solo modificar celdas Indicadas

FORMULA:

$$A = \frac{Q}{V} m^2$$

DIÁMETRO DE TUBERÍA MÍNIMA A UTILIZAR

r =	Diámetro de tubo interno	6,3766	Pulgadas
	Radio de tubo interno	0,1255	M

Solo modificar celdas Indicadas

FORMULA:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

DIMENSIONES DE CANAL DE INGRESO

T =	Tirante o profundidad de flujo	0,1650	M
B =	Ancho de Canal	0,3000	M
	Cota de agua en canal	0,3650	M

Solo modificar celdas Indicadas

FORMULA:

$$T = \frac{A}{B} cm$$

LARGO DE CANAL DE APROXIMACIÓN

Tr =	Tiempo de retención en canal	3,0000	Seg
Vol =	Volumen de retención en canal	0,0891	m ³
L =	Largo de Canal de aproximación	1,4850	M

(Metcalf & Eddy, 1995)

Fórmulas para el diseño del canal de entrada

Área canal de entrada

Q

$$A = \frac{Q}{V} \quad (m^2)$$

V

A= área de entrada de canal (m^2)

Q= caudal medio diario (m^3 /seg)

V= velocidad de entrada al canal (m/seg)

Tirante de agua

A

$$T = \frac{A}{B} \quad (cm) \cdot 100$$

B

T= tirante o profundidad de flujo (cm)

A= área de entrada del canal (m^2) B= ancho del canal (m)

Fórmulas para el diseño de la rejilla.

3) Ancho de la rejilla.

b+e

$$B = a \times \frac{b+e}{e} \quad (m)$$

e

B= ancho de la rejilla (m)

a= ancho del canal (m) e= abertura (m)

b= ancho de barras (m)

4) Altura de la rejilla.

$$h = B \sin \theta \text{ (m)}$$

h= altura de la rejilla (m)

B= ancho de la rejilla (m) θ = inclinación ($^{\circ}$)

5) Eficiencia

a

$$E = \frac{a}{a+t} (\%)*100$$

E= eficiencia (%)

a= abertura (m)

t= ancho de barras (m)

6) Ancho útil libre

$$B_u = B \times E \text{ (m)}/100$$

B_u= ancho útil libre (m)

B= ancho el canal (m)

E= eficiencia (%)

7) Ancho total ocupado por las barras

$$B_p = B - B_u \text{ (m)}$$

B_p= ancho total ocupado por las barras (m)

B= ancho del canal (m)

B_u= ancho útil libre (m)

Número de barras

Bp

Barras = $\frac{B_p}{t}$

de barras= total de barras a utilizar

Bp= ancho total ocupado por las barras (m)

t= ancho de la barra (m)

Pérdida de carga

$$H_f = K \cdot V^2 / 2g_c \cdot 100$$

Hf= pérdida de carga (cm)

V= velocidad a través de las barras (m/s)

G= aceleración gravitacional (m/s)

K= Constante

Pérdida de carga a un 50 % de obstrucción

$$H_f = K \cdot V^2 / g_c \cdot 100$$

Hf= pérdida de carga en 50 % de obstrucción (cm) V= velocidad a través de las barras (m/s)

Fuente: elaboración propia.

