



1859

**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los  
Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

### **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIOGÁS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA A LA SEDE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO, UBICADA EN EL BARRIO PEDREGAL – MALACATOS.**

**Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero en  
Electromecánica**

**AUTOR:**

Franz Eduardo Paladínez Ludeña

**DIRECTOR:**

Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio Mg.Sc.

Loja - Ecuador

2022

## Certificación

*Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, Mg. Sc.*  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

CERTIFICA:

Haber dirigido, revisado y corregido el presente trabajo de titulación, en su proceso de investigación, cuyo tema versa en: “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIOGÁS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA A LA SEDE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO, UBICADA EN EL BARRIO PEDREGAL – MALACATOS**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, realizado por el señor egresado: **Franz Eduardo Paladínez Ludeña**, la misma que ha sido **culminado al 100%** y cumple con la reglamentación y las políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa ante el Tribunal de Grado correspondiente.

Loja, 15 de marzo de 2022

Atentamente



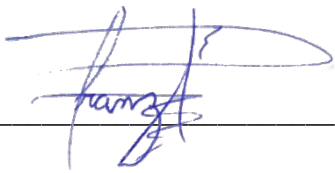
Firmado electrónicamente por:  
**IVAN ALBERTO  
CORONEL  
VILLAVICENCIO**

*Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, Mg. Sc.*  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Franz Eduardo Paladínez Ludeña**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

**Firma:**



---

**Cédula:** 1105703928

**Fecha:** 15 de marzo del 2022

**Correo electrónico:** Franz.paladinez@unl.edu.ec

**Teléfono o Celular:** 2710436 / 0998816794

**Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor, para la consulta, producción parcial o total y publicación electrónica del texto completo.**

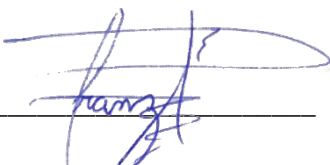
Yo **Franz Eduardo Paladínez Ludeña**, declaro ser el autor del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIOGÁS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA A LA SEDE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO, UBICADA EN EL BARRIO EL PEDREGAL – MALACATOS”**, como requisito para optar al grado de: **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de julio del dos mil veintidós.

**Firma:**



**Autor:** Franz Eduardo Paladínez Ludeña

**Cedula:** 1105703928

**Correo Electrónico:** franz.paladinez@unl.edu.ec

**Teléfono - Celular:** (07)2710436 / 0998816794

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Trabajo de titulación:** Ing. Iván Alberto Coronel Villavicencio, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

Este trabajo de titulación va dedicado a:

A mi padre Edgar Paladínez quien con su paciencia, esfuerzo, amor y dedicación me ha permitido cumplir hoy uno de mis más grandes sueños, gracias por todo el tiempo que usaste para enseñarme todo lo necesario para poder salir adelante, no solo con palabras sino también con acciones, siempre serás un ejemplo de lo que significa ser un hombre de bien y todo lo que uno debe sacrificar con el fin proteger y cuidar a la familia, en silencio observaba tu manera de actuar con los demás, respetando el valor de la vida de cada persona, me enseñaste a siempre ser humilde con todos y nunca dudar de extender la mano a quien lo necesita, aún falta muchas cosas que necesito comprender de este mundo y espero que sigas a mi lado aconsejándome mientras continuo en el camino de la vida.

Las siguientes palabras van dedicadas a mi madre Otilia Ludeña por su cariño y apoyo incondicional, durante todo mi camino educacional siempre estuviste a mi lado, vigilándome, enseñándome, cuidándome, nunca me he sentido solo gracias a que siempre sabía que podía contar contigo e hiciste mucho esfuerzo para que saliera adelante con mis estudios, cuando era niño me protegiste de los peligros del mundo y fuiste la primera maestra que me enseñó a comportarme, gracias a por estar siempre atenta a todo lo que me sucede y por estar preocupada si me encuentro triste o enfermo, siempre seré tu hijo y deseo cada día devolverte el amor que me das.

A mi hermosa hermana Jhulissa Paladínez que siempre ha sido mi apoyo emocional y mi compañera, eres una gran hermana mayor y estoy orgulloso de ti, siempre contarás con mi apoyo, cariño y amor, así que como tú me lo entregas todo el tiempo.

**FRANZ EDUARDO PALADINEZ LUDEÑA**

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por la educación superior impartida y por el apoyo que me brindaron durante mis años de estudios.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias laborales con el fin de formarnos como profesionales.

A mi director de trabajo de titulación por su paciencia y dedicación para salir adelante con este proyecto.

A mis familiares que siempre estuvieron dando ánimos y alentándome a seguir adelante hasta completar la carrera.

A mis compañeros de carrera que estuvieron junto a mí durante todos estos años, quienes siempre me brindaron su ayuda y buenos deseos.

A la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguyuma y Calera Bajo, de manera especial a sus Directivos, por brindarme las facilidades y el apoyo requerido para el diseño del biodigestor que se implementará en su Sede.

**FRANZ EDUARDO PALADINEZ LUDEÑA**

## Índice de contenido

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Autoría .....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenido.....	vii
Índice de tablas .....	xiv
Índice de figuras .....	xv
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1 Biomasa.....	6
4.1.1 Clasificación de la biomasa.....	8
4.1.1.1 Biomasa natural.....	8
4.1.1.2 Biomasa residual seca .....	8
4.1.1.3 Biomasa residual húmeda .....	8
4.1.2 Características de la biomasa .....	8
4.1.2.1 Contenido de humedad.....	8
4.1.2.2 Valor calorífico .....	9
4.1.3 Métodos de recolección.....	9
4.2 Digestión anaeróbica.....	10
4.2.1 Etapas de la digestión anaeróbica.....	11
4.2.1.1 Hidrólisis.....	11
4.2.1.2 Acidogénesis.....	12
4.2.1.3 Metanogénesis.....	12
4.2.2 Factores influyentes en la digestión anaeróbica.....	12
4.2.2.1 Tipo de materia prima o sustrato.....	13

4.2.2.2	Temperatura del sustrato .....	14
4.2.2.3	PH.....	14
4.2.2.4	Carga volumétrica .....	14
4.2.2.5	Tiempo de retención.....	15
4.2.2.6	Contenido de sólidos .....	15
4.3	Biogás .....	16
4.3.1	Composición química del biogás .....	17
4.3.2	Usos del biogás.....	18
4.3.3	Ventajas del biogás.....	18
4.3.4	Desventajas del biogás .....	18
4.3.5	Características principales del biogás.....	19
4.3.5.1	Combustión .....	19
4.3.5.2	Purificación .....	19
4.3.5.3	Valor calorífico .....	20
4.3.6	El biogás en Ecuador.....	20
4.4	Biol o fertilizante líquido .....	21
4.4.1	Ventajas del uso del biol .....	22
4.5	Biodigestores.....	22
4.5.1	Tipos de biodigestores.....	23
4.5.2	Biodigestor de domo fijo o tipo Chino.....	23
4.5.2.1	Características: .....	24
4.5.2.2	Ventajas:.....	24
4.5.2.3	Desventajas: .....	24
4.5.3	Biodigestores de domo flotante o tipo Hindú.....	25
4.5.3.1	Características: .....	25
4.5.3.2	Ventajas:.....	26
4.5.3.3	Desventajas: .....	26



4.5.4 Biodigestores tubulares .....	26
4.5.4.1 Características: .....	28
4.5.4.2 Ventajas.....	28
4.5.4.3 Desventajas .....	28
4.5.5 Biodigestores domésticos .....	28
4.5.5.1 Características: .....	29
4.5.5.2 Ventajas.....	30
4.5.5.3 Desventajas .....	30
4.5.6 Selección del biodigestor .....	30
4.5.7 Componentes de un biodigestor tubular.....	30
4.5.7.1 Cajas de entrada y salida.....	31
4.5.7.2 Biodigestor .....	32
4.5.7.3 Tubería de salida de biogás.....	32
4.5.7.4 Válvulas de alivio y de cierre.....	33
4.5.7.5 Tubería de salida de sólidos .....	33
4.5.7.6 Reservorio para almacenar biogás .....	33
4.5.7.7 Filtro desulfurador.....	34
4.5.7.8 Zanja.....	34
4.5.8 Factores a considerar en el diseño de un biodigestor tubular.....	36
4.5.8.1 Factores humanos y biológicos .....	36
4.5.8.2 Factores físicos y climáticos .....	36
4.5.8.3 Factores constructivos.....	37
4.5.9 Proceso de construcción de un biodigestor tubular.....	37
4.5.9.1 Preparación del terreno .....	37
4.5.9.2 Excavaciones.....	38
4.5.9.3 Fabricación del biodigestor tubular.....	40
4.5.9.4 Instalación de la salida de biogás.....	42

4.5.9.5	Instalación del biodigestor .....	43
4.5.9.6	Instalación de la válvula de alivio de biogás.....	44
4.5.9.7	Fabricación del filtro o trampa de ácido sulfhídrico .....	45
4.5.9.8	Instalación de la conducción de biogás .....	46
4.5.9.9	Ubicación de trampas de agua.....	46
4.5.9.10	Ubicación del reservorio de biogás .....	47
4.5.10	Operación y mantenimiento de un biodigestor tubular .....	48
4.5.10.1	Operación .....	48
4.5.10.2	Mantenimiento .....	49
4.6	Generador Eléctrico .....	50
4.6.1	Tipos de generadores eléctricos .....	50
4.6.2	Generadores electroquímicos .....	50
4.6.3	Generadores fotovoltaicos.....	51
4.6.4	Generadores electromecánicos .....	51
4.6.4.1	Partes de un generador eléctrico .....	52
4.6.5	Protecciones termomagnéticas .....	53
4.6.6	Tableros de distribución .....	53
4.7	Descripción del Área de Estudio.....	54
4.7.1	Ubicación .....	54
4.7.2	Cobertura y Uso del Suelo .....	55
4.7.3	Temperatura.....	56
4.7.4	Características de la sede de la junta.....	57
5.	Metodología.....	60
5.1	Materiales.....	60
5.2	Métodos.....	60
5.2.1	Análisis de la zona dónde se implementará el proyecto.....	60
5.2.1.1	Exploración de la geografía local.....	60

5.2.1.2	Búsqueda de planos que se implementaron en la sede.....	61
5.2.1.3	Investigación de la fauna y flora. ....	61
5.2.1.4	Analizar el clima de la parroquia Malacatos.....	61
5.2.2	Investigar sobre la estructura y funcionamiento del sistema.....	61
5.2.2.1	Investigar en textos, publicaciones y web sobre avances referentes al biogás.....	61
5.2.2.2	Indagar sobre los componentes y herramientas necesarios para la construcción de un biodigestor.....	62
5.2.2.3	Seleccionar el lugar donde se podrá aprovechar de mejor manera la instalación del sistema de biogás para la sede.....	62
5.2.2.4	Determinar los parámetros de diseño.....	62
5.2.3	Diseño del biodigestor tubular .....	62
5.2.3.1	Requerimiento eléctrico .....	62
5.2.3.2	Selección del generador eléctrico.....	63
5.2.3.3	Biogás necesario para obtener la energía requerida.....	65
5.2.3.4	Volumen de biogás producido .....	66
5.2.3.5	Dimensiones del biodigestor .....	69
5.2.3.6	Dimensiones de la zanja.....	71
5.2.4	Herramientas usadas en el diseño del biodigestor.....	73
5.2.5	Instalaciones eléctricas de la sede .....	74
5.2.5.1	Demanda eléctrica.....	74
5.2.5.2	Características constructivas de las instalaciones eléctricas .....	74
5.2.5.2.3	Tomacorrientes y cargas especiales .....	75
5.2.6	Análisis técnico económico del proyecto.....	75
5.2.6.1	Costos de la inversión inicial .....	76
5.2.6.2	Determinación del ahorro e ingresos anuales.....	77
5.2.6.3	Tiempo de amortización del proyecto.....	78
5.2.7	Planos de diseños .....	79

6. Resultados.....	80
6.1 Dimensiones del biodigestor tubular .....	80
6.1.1 Requerimiento eléctrico .....	80
6.1.2 Generador eléctrico seleccionado.....	80
6.1.3 Volumen de biogás producido por el biodigestor .....	80
6.1.4 Cálculo de las dimensiones del biodigestor .....	82
6.1.4.1 Volúmenes del biodigestor.....	82
6.1.4.2 Sección transversal del biodigestor.....	83
6.1.5 Cálculo de las dimensiones de la zanja .....	84
6.1.6 Cálculo de la potencia calorífica del biodigestor .....	85
6.2 Evaluación técnica económica.....	86
6.2.1 Costo del biodigestor tubular .....	86
6.2.2 Costo del generador eléctrico.....	88
6.2.3 Inversión inicial del proyecto .....	88
6.2.4 Determinación del ahorro e ingresos anuales.....	88
6.2.4.1 Determinación del ahorro anual .....	88
6.2.4.2 Determinación del ingreso anual.....	89
6.2.5 Tiempo de amortización del proyecto .....	90
7. Discusión .....	91
8. Conclusiones.....	93
9. Recomendaciones .....	94
10. Bibliografía .....	95
11. Anexos .....	98
Anexo 1. Hoja de cálculo para diseño del biodigestor.....	98
Anexo 2. Análisis de precios unitarios .....	101
Anexo 3. Biodigestor tubular.....	114
Anexo 4. Dimensiones de las cajas de entrada y salida.....	115
Anexo 5. Dimensiones de la zanja.....	116

Anexo 6. Gasómetro .....	117
Anexo 7. Válvula de alivio .....	118
Anexo 8. Dimensiones del generador eléctrico .....	119
Anexo 9. Filtro desulfurador.....	120
Anexo 10. Plano eléctrico de la sede JAAP-S .....	121
Anexo 11. Representación gráfica del sistema instalado.....	123
Anexo 12. Demanda de diseño de la sede.....	124
Anexo 13. Certificación de la traducción al idioma inglés del resumen. ....	125

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Procesos de clasificación de bioquímica y termoquímica</i> .....	10
Tabla 2 <i>Cantidad de kg de estiércol por cada 100 kg de peso vivo</i> .....	13
Tabla 3 <i>Contenido de sólidos de algunos estiércoles típicos</i> .....	16
Tabla 4 <i>Composición del biogás</i> .....	17
Tabla 5 <i>Cobertura y uso del suelo de la parroquia Malacatos</i> .....	56
Tabla 6 <i>Áreas de construcción de la sede</i> .....	57
Tabla 7 <i>Animales y cultivos del barrio el Pedregal</i> .....	61
Tabla 8 <i>Requerimiento energético para JAAP-S</i> .....	63
Tabla 9 <i>Descripción general del generador eléctrico</i> .....	64
Tabla 10 <i>Parámetros técnicos del generador eléctrico</i> .....	65
Tabla 11 <i>Materia orgánica disponible</i> .....	66
Tabla 12 <i>Relación estiércol: agua</i> .....	66
Tabla 13 <i>Porcentaje de sólidos totales (ST)</i> .....	68
Tabla 14 <i>Factor de producción de biogás (m<sup>3</sup>/kg)</i> .....	69
Tabla 15 <i>Propiedades de la geomembrana LLDPE LISA GM13</i> .....	70
Tabla 16 <i>Factores de simultaneidad y coincidencia</i> .....	74
Tabla 17 <i>Análisis de costos medios de venta por nivel de tensión</i> .....	77
Tabla 18 <i>Presupuesto del biodigestor tubular</i> .....	86
Tabla 19 <i>Materiales para construcción del biodigestor tubular</i> .....	87
Tabla 20 <i>Costo del generador eléctrico</i> .....	88

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Productores de biomasa</i> .....	7
Figura 2 <i>Etapas de la digestión anaeróbica</i> .....	11
Figura 3 <i>Proceso de producción de biogás</i> .....	17
Figura 4 <i>Biodigestor tipo Chino</i> .....	24
Figura 5 <i>Biodigestor tipo Hindú</i> .....	25
Figura 6 <i>Biodigestor tubular de plástico</i> .....	27
Figura 7 <i>Biodigestor tubular de geomembrana</i> .....	27
Figura 8 <i>Biodigestor doméstico</i> .....	29
Figura 9 <i>Usos del biodigestor doméstico</i> .....	29
Figura 10 <i>Componentes de un biodigestor tubular</i> .....	31
Figura 11 <i>Conexión de cajas</i> .....	32
Figura 12 <i>Sección transversal de la zanja</i> .....	35
Figura 13 <i>Replanteo para excavaciones</i> .....	38
Figura 14 <i>Excavación y conformación de la zanja</i> .....	39
Figura 15 <i>Protección del biodigestor</i> .....	40
Figura 16 <i>Biodigestor tubular de geomembrana</i> .....	41
Figura 17 <i>Instalación de la salida de biogás</i> .....	42
Figura 18 <i>Válvula de alivio de biogás</i> .....	45
Figura 19 <i>Materiales y filtro desulfurador</i> .....	46
Figura 20 <i>Trampa de agua y su ubicación</i> .....	47
Figura 21 <i>Reservorio de biogás vertical</i> .....	48
Figura 22 <i>Ejemplos de generadores electroquímicos</i> .....	51
Figura 23 <i>Componentes de un generador fotovoltaico</i> .....	51
Figura 24 <i>Tipos de protecciones termomagnéticas</i> .....	53
Figura 25 <i>Tablero de distribución</i> .....	54
Figura 26 <i>Ubicación de la sede</i> .....	55
Figura 27 <i>Temperatura media mensual de Malacatos en el año 2011</i> .....	56
Figura 28 <i>Vista frontal de la sede</i> .....	57
Figura 29 <i>Vista del salón de eventos</i> .....	58
Figura 30 <i>Vista del área administrativa</i> .....	58
Figura 31 <i>Ubicación del biodigestor</i> .....	59
Figura 32 <i>Generador eléctrico seleccionado</i> .....	64
Figura 33 <i>Tiempo de retención</i> .....	68

Figura 34 <i>Dimensiones de la zanja</i> .....	71
Figura 35 <i>Área transversal de la zanja</i> .....	72
Figura 36 <i>Función [Buscar objetivo...]</i> .....	73
Figura 37 <i>Fuentes de energía del Ecuador</i> .....	76
Figura 38 <i>Tiempo de retención del biodigestor</i> .....	82
Figura 39 <i>Dimensiones calculadas de la zanja</i> .....	85



## **1. Título**

Diseño de un sistema de biogás para el suministro de energía a la sede de la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo, ubicada en el barrio Pedregal – Malacatos.

## 2. Resumen

El presente trabajo de titulación consiste en el diseño de un biodigestor para generar biogás con la finalidad de abastecer a un generador eléctrico, el cual producirá energía eléctrica para la Sede de la Junta Administrativa de Agua Potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo, ubicada en el barrio El Pedregal de la parroquia Malacatos; dicho sistema se presenta como una alternativa de energía renovable, ya que se aprovecharán los residuos orgánicos que se pueden obtener de la crianza de animales que existen en el sector.

En función de las condiciones topográficas, climatológicas y económicas se seleccionó y diseñó un biodigestor tubular o tipo salchicha de flujo continuo; el material seleccionado es geomembrana de polietileno lineal de baja densidad, color negro humo, con un espesor de 0.75 mm o 750 micras. El biodigestor trabajará con una temperatura promedio de 20 °C, con un tiempo de retención de 40 días. Se utilizará como materia orgánica el estiércol de ganado vacuno.

El biodigestor tiene una longitud de 8.00 m, la sección transversal tiene una circunferencia de 4.00 m y un diámetro de 1.28 m, el volumen total del biodigestor es de 10.32 m<sup>3</sup>. El sistema contará con las cajas de entrada y salida que se conectan en los extremos del biodigestor; un gasómetro para almacenar el biogás, tendrá una longitud de 1.90 m y un diámetro de 1.00 m; la tubería de conducción es de PVC de 3/4"; adicionalmente, se han considerado todos los accesorios requeridos para una conducción del biogás desde el biodigestor hacia el generador eléctrico.

Se seleccionó un biodigestor tubular por su facilidad y por su menor costo de construcción, en comparación con otros tipos de biodigestores. El generador eléctrico seleccionado es de la marca GRETECH, modelo JL654173, el cual tiene una potencia nominal de 5.2 kW y requiere de 1.30 m<sup>3</sup> de biogás para generar 3.70 kW-h.

**Palabras Claves:** Biogás, Generador eléctrico, Residuos orgánicos, Bioenergía.

## 2.1 Abstract

This degree work consists of designing a biodigester to generate biogas in order to supply an electric generator, which will produce electricity for the Headquarters of the Administrative Board of Potable Water and Regional Sanitation of Pedregal, Saguanuma and Calera Bajo, located in the El Pedregal neighborhood of the Malacatos Parish; This system is presented as an alternative to renewable energy, since it can be produced from the organic waste obtained from the raising of animals that exist in the sector.

Considering the topographical, climatological and economic conditions, a continuous-flow tubular or sausage-type biodigester was selected and designed; The selected material is linear low-density polyethylene geomembrane, smoke black color, with a thickness of 0.75 mm or 750 microns. The biodigester will work with an average temperature of 20 °C, with a retention time of 40 days. Cattle manure will be used as organic matter.

The biodigester has a length of 8.00 m, the cross section has a circumference of 4.00 m and a diameter of 1.28 m, the total volume of the biodigester is 10.32 m<sup>3</sup>. The system will have the input and output boxes that are connected at the ends of the biodigester; a gas holder to store the biogas, it will have a length of 1.90 m and a diameter of 1.00 m; the conduction pipe is 3/4" PVC; In addition, all the necessary accessories for conducting the biogas from the biodigester towards the electric generator have been considered.

A tubular biodigester was selected for its ease and lower construction cost, compared to other types of biodigesters. The selected electric generator is from the GRETECH brand, model JL654173, which has a nominal power of 5.2 kW and requires 1.30 m<sup>3</sup> of biogas to generate 3.70 kW-h.

**Keywords:** Biogas, Electric generator, Organic waste, Bioenergy.

### 3. Introducción

El biogás ha sido un compuesto utilizado por la humanidad desde tiempos inmemoriales, según descubrimientos históricos se especula que en Asiria por el siglo X A.C. se utilizaba el biogás para calentar el agua de los baños. “Se cree que los primeros en utilizar la digestión anaeróbica en los desechos sólidos fueron originarios de la civilización de la antigua China”(Bond & Templeton, 2011). Los primeros documentos registrados sobre intentos para aprovechar la digestión anaeróbica de la biomasa, se remontan a mediados del siglo XIX. Durante años el avance de esta tecnología ha permitido que en la actualidad sea posible utilizarla tanto en la industria como de manera residencial.

En la actualidad no solo los países del primer mundo la están utilizando, se ha visto un enorme avance en el uso de esta tecnología en Latinoamérica. La primera planta de Biogás construida en el Ecuador se encuentra ubicada en Cuenca, desarrollada por la compañía BIOEMAC diseñada con el fin de dar luz a 7.300 familias con un consumo de 160 kW-h/mes (EMAC, 2017).

A pesar de que Ecuador no es un país de primera categoría, poco a poco ha incrementado la iniciativa por adquirir nuevos métodos alternativos de generación de energía eléctrica, con el fin de obtener beneficios eco eficientes a futuro, ejemplos como el Proyecto de biogás Relleno Sanitario El Inga I y II en Quito demuestran que se están tomando en cuenta estas energías por parte del gobierno (*Proyecto de biogás Relleno Sanitario El Inga I y II – ARCONEL, s/f*).

En la actualidad la energía eléctrica es una necesidad básica para todo ser humano; el aumento de la población y el crecimiento desordenado, sin ninguna planificación ni ordenamiento territorial de los sectores rurales, son factores que impiden y dificultan el abastecimiento de energía eléctrica requerida por: Hogares, escuelas, establecimientos públicos y privados, etc. En esta realidad, la generación de energías alternativas amigables con el medio ambiente, como es el caso del biogás, son una gran opción para satisfacer los requerimientos de los sectores rurales; con lo cual se aporta al desarrollo de los mismos.

Los biodigestores se presentan como una gran alternativa para la producción de biogás, el cual se puede utilizar para cocer los alimentos mediante el uso de una cocina, o se puede utilizar para generar energía eléctrica mediante el uso de un generador eléctrico que trabaje con biogás. Existen diferentes modelos de biodigestores, cada uno con sus ventajas y desventajas; en nuestro país los que más se han construido son los biodigestores tubulares de flujo continuo, se han seleccionado por su relativo bajo costo y por su facilidad de construcción.

El proyecto diseñado se va a implementar en la Sede de la Junta Administradora de Agua potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo (JAAP-S), ubicada en el barrio El Pedregal de la parroquia Malacatos; la JAAP-S es una entidad privada que brinda los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario a 360 familias de los barrios ubicados en su área de cobertura; estos barrios son sectores agrícolas y ganaderos que cumplen con las condiciones idóneas para contar con la materia orgánica requerida, la cual mediante un biodigestor y un generador eléctrico se generará la energía suficiente para abastecer la demanda energética de la Sede de la Junta.

#### **4. Marco Teórico**

Una de las grandes preocupaciones mundiales es el agotamiento de los hidrocarburos como fuente principal de energía; lo cual ha generado preocupación en las naciones encaminándolas en la búsqueda de nuevas opciones de energía alternativas; una de ellas son los biocombustibles. En el presente trabajo se trata de explicar los grandes beneficios económicos y ecológicos que tiene la generación de biogás (gas metano), debido a la descomposición de materia orgánica en condiciones anaeróbicas; así como la construcción de un biodigestor y su ubicación de acuerdo con la disposición de la materia prima y las necesidades rurales de electrificación; así como la sustitución del servicio eléctrico público por la energía generada por el sistema diseñado.

El Ecuador es exportador de petróleo y éste se constituye la principal fuente de ingresos, pero adicionalmente posee un gran potencial agrícola; lo cual se puede aprovechar para contar con otras fuentes de energía renovable y disminuir los problemas de contaminación ambiental. El presente proyecto está enfocado en obtener biogás a través de la descomposición de residuos orgánicos, por medio de los procesos de digestión anaeróbica que ocurren en ausencia de oxígeno (sin aire) al interior de un biodigestor, el mismo que facilita el crecimiento y la proliferación de bacterias anaerobias metanogénicas, las cuales descomponen a los residuos o sustrato y su producto final está compuesto principalmente por un gas combustible conocido como biogás o gas metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y otros elementos en proporciones despreciables; adicionalmente se puede obtener un efluente líquido alcalino rico en nutrientes con materia orgánica estabilizada conocido como biol que puede ser utilizado como abono; estos procesos pueden eliminar los efectos negativos de contaminación ambiental producidos por los desechos y diversos tipos de vectores que pueden provocar enfermedades.

##### **4.1 Biomasa**

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar, los vegetales, al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas; después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas; los productos de dicha transformación, que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

También se conoce a la biomasa como bioenergía o biocombustibles, es la fracción biodegradable de los productos y residuos de la agricultura, la forestación y sus industrias asociadas (Jaramillo & Romero, 2012).

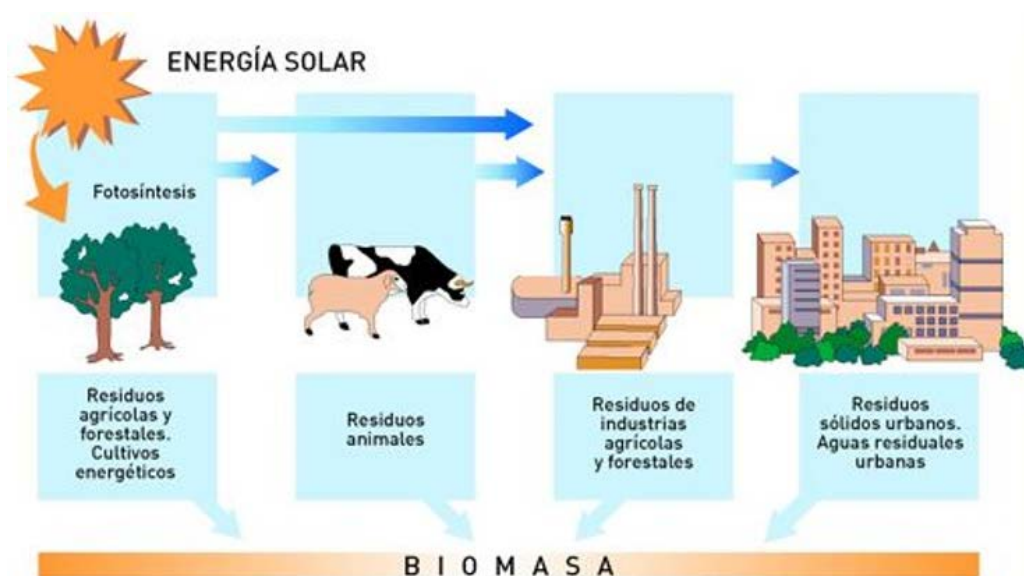
Existen varias maneras de obtener biomasa aparte del campo y la agricultura, actualmente también es posible obtener este producto de los residuos municipales e industriales. Se considera a la biomasa como una energía renovable ya que según (Carrillo, 2012) el contenido energético de la biomasa procede, en última instancia, de la energía producida por el sol en los vegetales a base del proceso de la fotosíntesis.

La capacidad de usar residuos orgánicos para convertirlos en energía, permite obtener energía renovable evitando que se utilicen nuevos recursos naturales para su explotación. A pesar de que la biomasa no es un descubrimiento nuevo, la humanidad optó por fuentes de energía con un mayor poder calorífico, la situación actual de nuestro planeta nos obliga a utilizar nuevas fuentes alternativas de energía para evitar el colapso de la sociedad como la conocemos en un futuro cercano.

La biomasa cuando es utilizada para generar energía se caracteriza por los niveles bajos de carbono, compuestos volátiles y un gran contenido de oxígeno. Según la Secretaría de Energía de Argentina (Secretaría de Energía, 2008) estos compuestos volátiles son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa.

Se podría decir que el poder calorífico de la biomasa puede tener valores entre 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos ligno – celulósicos o conocidos normalmente como residuos agrícolas, los 2000 – 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente las 10000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos (Carrillo, 2012).

Gracias a estas características, pero sobre todo debido al bajo contenido de carbono de la biomasa, da como resultado ser un producto muy competente para ser utilizado en la generación de energía. En la figura 1 se puede apreciar la producción de biomasa.



**Figura 1** Productores de biomasa  
Nota. Adaptada de (Ronda, 2019)

### ***4.1.1 Clasificación de la biomasa***

La biomasa como fuente para la producción de energía renovable, puede clasificarse en diferentes variedades según las condiciones naturales o artificiales que se encuentren a disposición. Una breve clasificación hace referencia a la biomasa como fuente de poder energético de la siguiente manera:

- ✓ Biomasa natural.
- ✓ Biomasa residual seca.
- ✓ Biomasa residual húmeda.

#### **4.1.1.1 Biomasa natural**

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización; esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

#### **4.1.1.2 Biomasa residual seca**

Son todos aquellos materiales que se pueden conseguir naturalmente con un valor de humedad menor al 60 % como maderas, pajas, etc. Generalmente son utilizados para la generación de energía mediante procedimientos físico químicos, que dan como resultado un combustible o energía térmica.

#### **4.1.1.3 Biomasa residual húmeda**

Son aquellos materiales que superan el 60 % de humedad, en su mayoría serían los residuos animales, vegetales, acuáticos, etc. Estos residuos son trabajados mediante procesos químicos con el fin de obtener combustibles líquidos y gaseosos.

### ***4.1.2 Características de la biomasa***

#### **4.1.2.1 Contenido de humedad**

El contenido de humedad, o humedad relativa, se define como la cantidad de agua presente en la biomasa, expresada como un porcentaje del peso (Carrillo, 2012).

Cuando la biomasa es utilizada como combustible es uno de los factores más importantes, ya que nos permitirá saber la cantidad de energía que se podrá conseguir mediante la combustión. Al momento de quemar la biomasa se necesita primero lograr evaporar el agua, y debido a este proceso entre mayor sea su porcentaje de humedad, menor valor calorífico se conseguirá.



En los combustibles existe agua en su contenido, pero en la biomasa esos niveles son elevados, lo que afecta al valor calorífico y a la combustión, El porcentaje de humedad varía dependiendo de los residuos utilizados, el tiempo y la humedad atmosférica.

El valor de la humedad se puede indicar según sea en base seca o en base húmeda; en base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje. El contenido de humedad en base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material (Jaramillo & Romero, 2012).

#### **4.1.2.2 Valor calorífico**

Según Quinteros (2015), todas las formas de biomasa tienen un valor calorífico, el cual se expresa como la cantidad de energía por unidad física, por ejemplo, joule por kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente.

El valor calorífico se puede anotar de dos formas diferentes:

- Bruto
- Neto.

El valor calorífico bruto se define como la cantidad total de energía que se liberaría vía combustión, dividido por el peso. El neto es la cantidad de energía disponible después de la evaporación del agua en la biomasa; es decir, es la cantidad de energía realmente aprovechable, y siempre es menor que el valor calorífico bruto.

#### **4.1.3 Métodos de recolección**

De acuerdo con Quinteros (2015), hay tres tipos de fuentes de energía de biomasa, se incluyen los cultivos bioenergéticos, residuos agrícolas y residuos forestales. En la producción energética a partir de biomasa se debe hacer una clara distinción entre el proceso termoquímico que incluye combustión, pirólisis y gasificación, y el proceso bioquímico que reconoce la fermentación y digestión anaerobia (Tabla 1).

**Tabla 1** *Procesos de clasificación de bioquímica y termoquímica*

Proceso de Conversión	Soluciones Tecnológicas	Producto Final
Procesos termoquímicos	Combustión	Vapor Procesos de calor Energía eléctrica
	Gasificación	Vapor Procesos de calor Energía eléctrica Gas combustible metano
	Pirólisis	Carbón Bio-carbón Gas combustible
Procesos bioquímicos	Fermentación	Etanol Agua para riego
	Digestión anaeróbica	Compost Biogás

*Nota.* Adaptada de (Quintero Gonzáles, 2015).

#### 4.2 Digestión anaeróbica

Es un método biológico donde una agrupación de microorganismos, conocidos como bacterias metanogénicas, descomponen la materia orgánica en un entorno sin oxígeno; proceso anaeróbico que produce biogás, y otros productos que son utilizados como abono en la agricultura.

Las bacterias requieren de un ambiente propicio, primero para sobrevivir y luego para multiplicarse hasta alcanzar una población suficiente para que su acción sea apreciable; por esta razón debe cumplir con las condiciones siguientes:

- a) La ausencia de aire para cumplir con el requisito de condición anaeróbica que permite la supervivencia de los microorganismos.
- b) Las características del medio (llamado también el sustrato) donde crecen y se multiplican las bacterias.

Es importante destacar que la temperatura, que experimentalmente se ha determinado, debe ser mayor a los 20 °C para lograr una buena producción. También es importante considerar el grado de acidez, conocido como PH; el ambiente debe ser ácido, caso contrario puede causar la muerte de los microorganismos.

En la digestión anaeróbica el agente receptor de los electrones desprendidos de la degradación es otro compuesto distinto al oxígeno. Para esta descomposición, la energía desprendida del proceso de descomposición es receptada por los enlaces de metano. La energía restante se emplea, al igual que en la descomposición aerobia, en los procesos metabólicos y en liberación de calor.

$$\Delta \text{Energía} = \text{Biomasa} + \text{Calor} + \text{CH}_4 \quad \text{Ecuación 1}$$

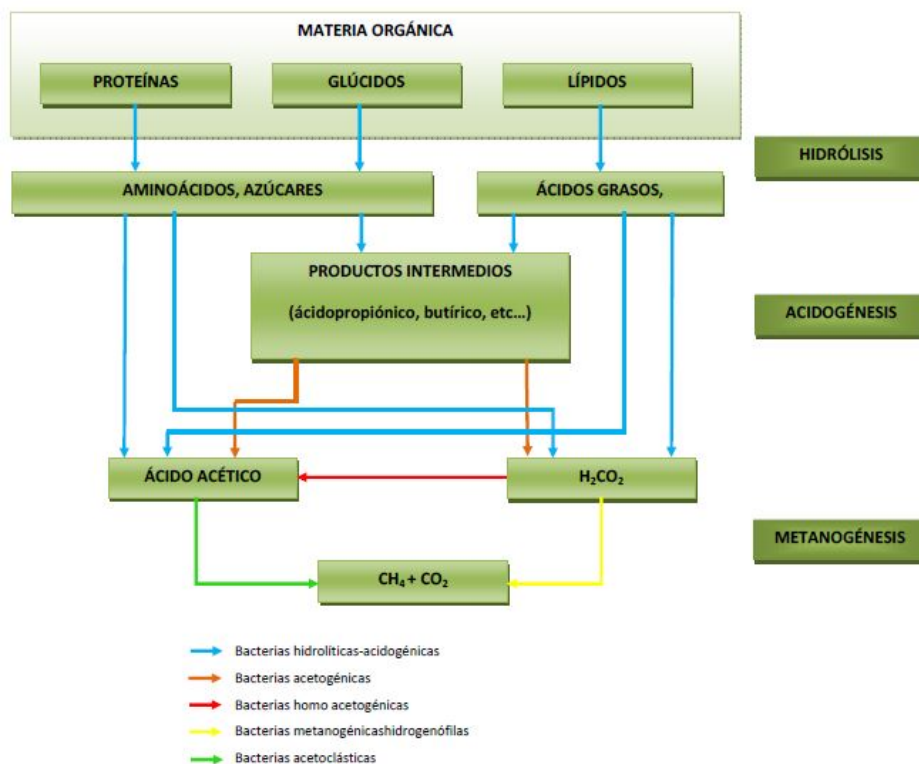
CH<sub>4</sub> es el metano producido en el proceso de descomposición anaeróbica.

#### 4.2.1 Etapas de la digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica tiene tres etapas claramente definidas: Hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis; en estas etapas están involucradas diferentes tipos de bacterias, siendo las más activas las siguientes: Bacterias de fermentación, bacterias acetogénicas y bacterias metanógenas.

La descomposición se produce por la ausencia de oxígeno dentro de la unidad de biodigestión, provocando la oxidación del material orgánico donde, en ausencia del oxígeno, actúan microorganismos anaeróbicos específicos.

En la figura 2 se describen las diferentes etapas que se producen durante de la digestión anaeróbica:



**Figura 2** Etapas de la digestión anaeróbica

Nota: Adaptada de (González, 2014)

##### 4.2.1.1 Hidrólisis.

También conocida como etapa de solubilización, durante esta etapa los compuestos orgánicos son tratados por enzimas producidos por bacterias hidrolíticas, con el fin de

solubilizar dichos compuestos; en resumen, las bacterias descomponen las largas cadenas de los complejos carbohidratos, proteínas y lípidos en moléculas de pequeñas masas.

#### **4.2.1.2 Acidogénesis.**

Durante esta etapa los compuestos orgánicos producto de la hidrólisis que son solubles, terminan convertidos en ácidos orgánicos como, por ejemplo: Acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Las bacterias que intervienen en esta etapa son facultativamente anaeróbicas y pueden crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético necesitan oxígeno y carbono; para esto utilizan el oxígeno disuelto en la solución u oxígeno enlazado; por esta razón, las bacterias productoras de ácido crean una condición anaeróbica que es esencial para los microorganismos productores de metano o biogás. Además, reducen los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y tazas de metano.

#### **4.2.1.3 Metanogénesis.**

Durante esta etapa los microorganismos convierten los productos ya degradados en metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta, y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono.

### ***4.2.2 Factores influyentes en la digestión anaeróbica***

La actividad metabólica involucrada en el proceso de descomposición de la materia orgánica para llegar al metano o biogás se ve afectada por diversos factores; esto se debe a que cada grupo de bacterias que intervienen en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios, no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de biogás en forma precisa.

Los factores más importantes a tenerse en cuenta son los siguientes:

- ✓ Tipo de materia prima o sustrato.
- ✓ Temperatura del sustrato.
- ✓ PH
- ✓ Carga volumétrica
- ✓ Tiempo de retención
- ✓ Contenido de sólidos

#### 4.2.2.1 Tipo de materia prima o sustrato

El tipo y calidad de la materia prima disponible para la digestión anaeróbica es de suma importancia, ya que de ésta dependen los procesos que generan biogás; en la selección de la materia prima se deben considerar los parámetros siguientes:

- ✓ La materia prima debe ser 100% orgánica, no debe contener material no degradable.
- ✓ Debe ser lo más fresca posible, a fin de mejorar la producción de biogás en cantidad y calidad.
- ✓ No debe contener restos animales ya que éstos retrasan los procesos de fermentación.

Dentro de la materia prima existe un amplio espectro de componentes fermentables como son:

- ✓ Excrementos humanos y animales
- ✓ Residuos de cosechas
- ✓ Basura orgánica
- ✓ Aguas residuales

La materia prima que más se utiliza para producir biogás es el estiércol o excremento de animales, debido a que en los sectores rurales existe una gran cantidad de fácil acceso y manejo. El volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables, principalmente depende del peso, tipo de alimentación y manejo de los mismos.

En la tabla 2 se presentan las cantidades promedio de estiércol producido por diferentes especies, incluidos los humanos.

**Tabla 2** Cantidad de kg de estiércol por cada 100 kg de peso vivo

ESPECIE	kg DE ESTIERCOL
Vaca	8
Cerdo	4
Cabra/oveja	4
Conejo	3
Caballo	7
Humano Adulto	0.4 kg por adulto
Humano Niño	0.2 kg por niño

*Nota:* Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

#### **4.2.2.2 Temperatura del sustrato**

La temperatura del sustrato juega un papel muy importante en la producción de biogás, La digestión es más rápida y más completa a temperaturas elevadas, el intervalo de 30 – 40 °C es adecuado para la velocidad de digestión y la estabilidad del digestor.

La temperatura a la que se vaya a trabajar es un factor importante a tener en cuenta desde el punto de vista técnico y económico, ya que al trabajar con temperaturas de un rango 50 – 60 °C los equipos, tuberías, válvulas y accesorios en general serán más costosos, y también se necesitará un gasto mayor de energía en el propio proceso.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación, esto se conoce como tiempo de retención que se detalla más adelante.

#### **4.2.2.3 PH**

El PH es un parámetro fundamental que indica cómo se desarrolla la degradación de los residuos dentro del biodigestor, y permite tener una visión de la producción de biogás que se obtendría al final de este proceso.

Para que no exista ningún inconveniente en la producción de biogás el rango del PH debe estar dentro de los 6.8 y 7.4 que es el rango neutro ideal, y con límites de 6 y 8 para que el proceso no tenga problemas en el desarrollo.

Las variaciones del PH en el biodigestor se pueden controlar mediante dos métodos.

El primer modo de control es detener la carga del biodigestor, y permitir durante cierto tiempo que las bacterias metanogénicas reduzcan los ácidos grasos volátiles (AGV); permitiendo que el nivel de PH se incremente hasta valores aceptables entre el rango establecido. Cuando el PH retoma valores normales se puede continuar cargando el biodigestor con materia orgánica de manera lenta y en pequeñas cantidades, luego se puede aumentar gradualmente la carga y evitar cualquier descenso.

El segundo modo de control consiste en agregar tampones o buffer para elevar el PH sin cambiar el ritmo de carga del biodigestor, los elementos a usar son el carbonato de sodio que evitan las precipitaciones del carbonato de calcio; sin embargo, este material resulta ser costoso, también se puede agregar agua con cal.

#### **4.2.2.4 Carga volumétrica**

Se define como la cantidad de materia orgánica introducida en el biodigestor por unidad de volumen y tiempo. Un valor bajo de velocidad de carga volumétrica implica una baja

concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención, mientras que su incremento conlleva una reducción en la producción de biogás por unidad de materia orgánica introducida; por este motivo, se tendrá que buscar un valor óptimo desde el punto de vista técnico y económico para cada instalación y residuo a tratar.

También se define como el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención hidráulico, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

#### **4.2.2.5 Tiempo de retención**

Es el tiempo que el sustrato debe permanecer dentro del biodigestor para que se desarrollen los procesos de descomposición de la materia orgánica o sustrato; es decir, es el tiempo que se requiere para la producción óptima de biogás. Debido a que el proceso de producción de biogás es lento, mientras más tiempo esté el sustrato dentro del biodigestor, mayor será la producción de biogás en términos absolutos por unidad de sustrato.

Existe una relación inversa entre el tiempo de retención y la temperatura, a mayor temperatura menor tiempo de retención, o a menor temperatura mayor tiempo de retención. Por ello es necesario que el tiempo de retención se ajuste a la temperatura a la que van a trabajar las bacterias dentro del biodigestor.

#### **4.2.2.6 Contenido de sólidos**

Durante la digestión anaeróbica de un residuo sólido, la velocidad de solubilización de la materia orgánica va a estar íntimamente relacionada con el contenido de sólidos del sustrato.

La materia orgánica o sustrato que entra al biodigestor está compuesta por dos tipos de sólidos, los sólidos totales y los sólidos volátiles.

Los sólidos totales (ST) representan la parte “seca” del sustrato; es decir, que al sustrato original se le quita toda el agua (por evaporación), y lo que queda seco son los sólidos totales. Estos sólidos se presentan en % de ST que tiene un sustrato, indicando el % de materia seca que hay en él.

Los sólidos volátiles (SV) son la fracción orgánica del sustrato; estos son los que pasarán por el proceso de digestión anaerobia, digeridos por el consorcio bacteriano. Los sólidos volátiles se pueden expresar de dos formas: la una como un % de sólidos totales y la otra como un % de la materia orgánica sin secar (base húmeda). En la tabla 3 se presentan los porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles para diferentes tipos de estiércol de animales.

**Tabla 3** *Contenido de sólidos de algunos estiércoles típicos*

ESTIÉRCOL	%ST	SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)	
		%ST (BASE SECA)	%SV (BASE HÚMEDA)
Vaca	10 - 17	70 - 80	7 - 13.6
Cerdo	20 - 35	60 - 75	12 - 26.25
Cabra/oveja	50 - 70	70 - 75	35 - 52.5
Llama	55 - 65	70 - 75	38.5 - 48.75

*Nota:* Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

### 4.3 Biogás

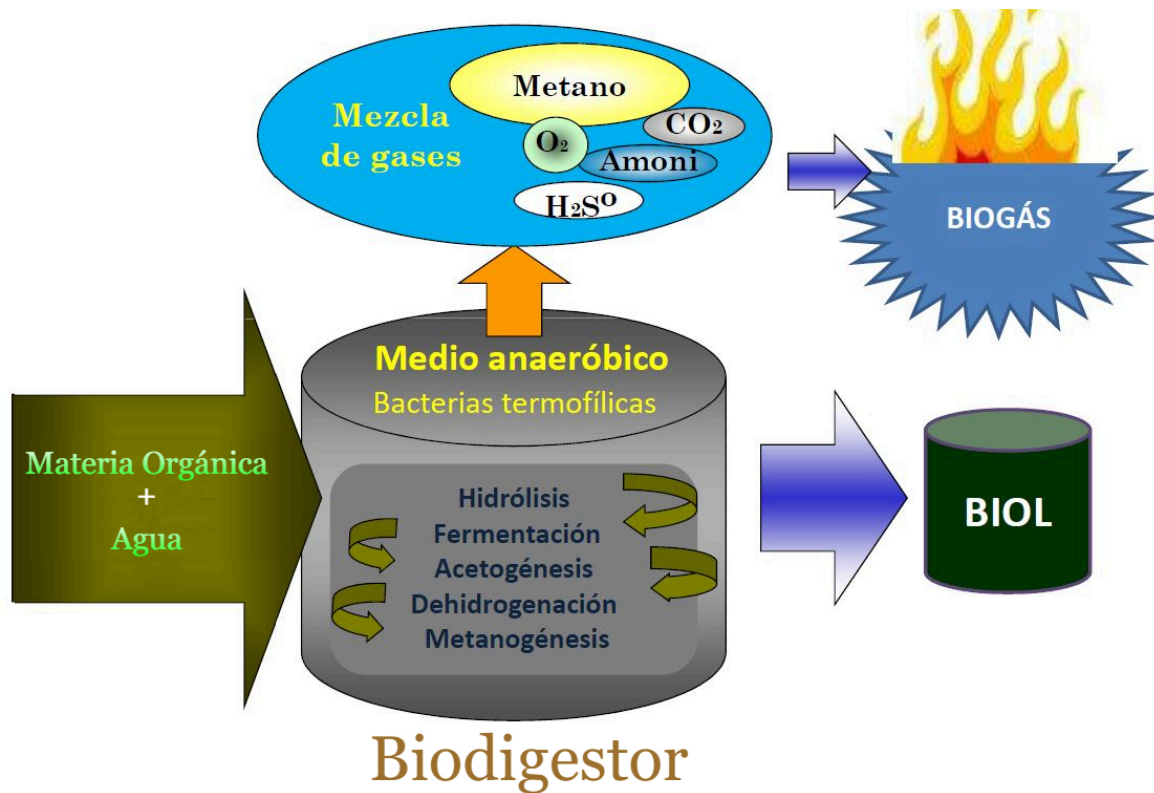
Es el nombre que se le da a la mezcla de gases producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

El biogás puede ser de gran utilidad en el campo, ya que por su poder calorífico puede reemplazar con cierta ventaja a combustibles tradicionales que cumplen la misma función. Las áreas rurales se caracterizan por disponer de grandes cantidades de desechos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias que ahí se desarrollan. El estiércol de los animales, las cáscaras de las frutas, las hojas, los residuos de la cocina y los demás materiales orgánicos similares, mediante el uso de un biodigestor, pueden ser convertidos en gases para ser aprovechados en cocinas o en la generación de energía eléctrica; además, se pueden convertir en abono para ser aprovechado por las plantas.

Actualmente la tecnología del biogás se usa prácticamente en todo el mundo, especialmente en aquellas zonas donde no hay reservas considerables de combustibles fósiles. En los países en vías de desarrollo, la preocupación por el aspecto energético se ha manifestado mediante la búsqueda de otras fuentes de energía como es el caso del biogás. Junto con la propuesta de diferentes diseños de biodigestores han aparecido un sin número de plantas de biogás, aunque todavía no las suficientes como para prescindir de los combustibles a base de petróleo.

En la figura 3 se detalla el proceso de producción de biogás.





**Figura 3** *Proceso de producción de biogás*  
 Nota: Adaptada de (Cotrina, 2011)

#### 4.3.1 Composición química del biogás

La composición típica del biogás en una mayor proporción corresponde al metano ( $\text{CH}_4$ ), un gas combustible que se utiliza para la generación de energía calórica o eléctrica. En la tabla 4 se presentan los principales componentes del biogás.

**Tabla 4** *Composición del biogás*

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Metano	40 - 75
Dióxido de carbono	25 - 55
Vapor de agua	0 - 10
Nitrógeno	0 - 5
Oxígeno	0 - 2
Hidrógeno	0 - 1
Aminoácidos	0 - 1
Compuestos de azufre	0 - 1

Nota: Adaptada de (Cummins Power Generation)

### **4.3.2 Usos del biogás**

Según Castells (2012), los principales usos del biogás producido por la digestión anaeróbica son:

- ✓ Generar biocombustibles
- ✓ Gases de combustibles
- ✓ Generar energía térmica
- ✓ Generar energía eléctrica
- ✓ Con fines domésticos o industriales
- ✓ Se utiliza para cocción, iluminación, calefacción, refrigeración.

### **4.3.3 Ventajas del biogás**

- ✓ Podemos nosotros mismos construir un sistema de biogás, utilizando materiales básicos y fáciles de encontrar.
- ✓ El sistema transforma materiales potencialmente peligrosos, como el estiércol de animales, en materiales inocuos; el proceso de fabricación del gas mata a los agentes patógenos.
- ✓ Como subproducto de una planta de biogás se obtiene un fertilizante de alta calidad.
- ✓ Si tiene una instalación agropecuaria que genera una gran cantidad de estiércol animal, es posible generar un sistema circular muy atractivo: los animales producen estiércol, el estiércol se transforma en gas y fertilizante, el fertilizante se emplea en el jardín, el gas se usa para iluminación, la cocina y la calefacción, el calor y la luz se utiliza para mejorar el bienestar de los animales.

### **4.3.4 Desventajas del biogás**

- ✓ Las reacciones químicas son de tal naturaleza que los metales (excepto el hierro y el níquel) impiden el proceso anaerobio. Por tanto, hay que utilizar elementos de polietileno sin latón ni cobre, los gases corroen las partes metálicas.
- ✓ Hace falta un suministro ilimitado de materia prima, como por ejemplo estiércol animal o algún tipo de residuo de procesos de producción de alimentos, los cuales pueden despedir malos olores y ser desagradables de manipular.
- ✓ Los componentes del biogás, como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno, pueden eliminarse mediante un proceso de lavado que incrementa el costo del sistema.

- ✓ El biogás es explosivo cuando se mezcla con el aire, por lo que no se pueden utilizar herramientas eléctricas, ni ninguna otra cosa que pueda hacer entrar al gas en combustión, inhalar metano también puede hacer que una persona pierda la conciencia.

#### ***4.3.5 Características principales del biogás***

##### **4.3.5.1 Combustión**

El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos, descomponiéndose principalmente en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. La combustión se completa sin el exceso de aire y con oxígeno puro.

El requerimiento de aire mínimo sería del 21 %, pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión.

La relación aire-gas puede ser ajustada aumentando la presión del aire, esto se logra incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro); además se puede modificar la geometría del paso de aire desde el exterior.

Debido al contenido de dióxido de carbono, el biogás tiene una velocidad de propagación de la llama lenta de 43 cm/s, y por lo tanto la llama tiende a escaparse de los quemadores.

La presión para un correcto uso del gas oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial cuidado en este aspecto, debido a que se deberán calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro.

##### **4.3.5.2 Purificación**

En la práctica la purificación del biogás es la remoción del dióxido de carbono o el sulfuro de hidrógeno o ambos. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor como combustible del biogás; el sulfuro de hidrógeno se elimina para disminuir el efecto de corrosión sobre los metales que están en contacto con el biogás.

El método químico más simple y eficiente de remoción del dióxido de carbono es su absorción en agua de cal. Este método necesita mucha atención por cuanto el agua de cal se agota y necesita cambiarse frecuentemente, lo que trae como consecuencia su preparación frecuente sino se obtiene comercialmente. El agua de cal puede sustituirse por una solución acuosa de etanolamina la cual absorbe el dióxido de carbono (y también el sulfuro de hidrogeno); aunque este proceso es caro para hacerlo rutinario en la purificación del biogás,

debido al calentamiento periódico a que tiene que ser sometida esta sustancia para su regeneración.

El dióxido de carbono es bastante soluble incluso en agua neutral (878 cc/litro a 20 °C) bajo presión atmosférica, así que el lavado con agua ordinaria es quizás el método más sencillo de eliminación de impurezas.

El CO<sub>2</sub> es soluble en agua mientras que el metano no lo es. A alta presión, la solubilidad del CO<sub>2</sub> aumenta proporcionalmente permitiendo que la concentración de metano en el biogás se incremente; además de los métodos tradicionales de desulfuración con lana de hierro existe un procedimiento basado en la adición de aire al 1.5 % del volumen de biogás producido (Henning, 1986). Con este método se asegura una disminución del contenido de H<sub>2</sub>S de aproximadamente 120 ppm o 0.012 % en volumen de biogás.

#### **4.3.5.3 Valor calorífico**

Tiene como promedio un poder calorífico entre 4500 a 5600 kcal/m<sup>3</sup> (6 kW-h/m<sup>3</sup>) que corresponde aproximadamente a la mitad de un litro de combustible diésel. Así como cualquier gas puro las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. Si deseamos mejorar el valor calórico del biogás debemos limpiarlo de CO<sub>2</sub>, de esta forma se logra obtener metano al 95 %. El valor calorífico del metano puede llegar hasta 8260 kcal/m<sup>3</sup> con una combustión limpia (sin humo) y casi no contaminada. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono.

#### **4.3.6 El biogás en Ecuador**

El Art. 413 de la Constitución Ecuatoriana incentiva a la búsqueda de alternativas que permitan la diversificación de las fuentes de la matriz energética, y la reducción del consumo de combustibles derivados del petróleo. Siguiendo estas directrices el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) incentiva el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas, agroindustriales, pecuarios y de los residuos domiciliarios, usando biodigestores para la producción de biogás. El MEER lleva adelante el “Programa Nacional de Construcción de Biodigestores”, catalogado como prioritario por los Art. 28 y 30 de la Ley de Presupuesto del Sector Público.

Hasta el momento existen pocos biodigestores de tamaño considerable en el país, en donde aún prevalecen los biodigestores de pequeña capacidad instalados en zonas rurales. Las instalaciones más representativas son:

1. Jardín Botánico de Quito: biodigestor de 12 m<sup>3</sup> con tecnología ecuatoriana, que opera con estiércol de vaca y residuos de poda. Genera aproximadamente 9m<sup>3</sup>/día de biogás que es almacenado en “salchichas” de membrana geo-textil, para ser consumido por un motor de combustión interna (MCI) conectado a un generador eléctrico de 1 kW.
2. Biodigestores de la empresa Aqualimpia, de media escala con tecnología alemana. El más grande es de 3 000 m<sup>3</sup> de capacidad y está instalado en la empresa Florana Farms S.A. en el Cantón Pedro Vicente Maldonado. No se genera electricidad.
3. Biodigestor de la empresa PRONACA, de 11 000 m<sup>3</sup> de capacidad, instalado en la Provincia de Santo Domingo para el tratamiento de los efluentes de las granjas avícolas y porcícolas. Este proyecto enviará una propuesta de MDL ante el Comité de la UNFCC. No se genera energía.
4. Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC EP, administra el biogás extraído del relleno sanitario de Pichacay para generar 1 MW de electricidad; las instalaciones están ubicadas en la parroquia Santa Ana de la capital azuaya. El relleno sanitario recibe un promedio de 500 toneladas de basura por día.

No existe un dato oficial con relación al potencial económico y comercial de la producción de biogás, a pesar de que el potencial técnico se muestra significativo debido a la estructura económica del país, basada fuertemente en actividades agropecuarias.

#### **4.4 Biol o fertilizante líquido**

Se conoce como biol al fertilizante producido durante el proceso de digestión anaeróbica dentro de los biodigestores. En el proceso de digestión anaerobia, los nutrientes como el Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y otros, contenidos en los residuos orgánicos que entran en forma orgánica al biodigestor, se mineralizan produciendo un fertilizante que puede ser aprovechado para abonar las plantas.

Anteriormente el biol era un producto invisibilizado, pero que en la actualidad está tomando gran importancia. El uso del biol en los propios cultivos significa realizar un reciclaje de nutrientes, que hacen al productor más resiliente e independiente de los productos agroquímicos cuyo uso afecta al medio ambiente. El uso del biol permite que el productor pueda fertilizar sus campos, ahorrando costos de compra de fertilizantes sintéticos, y dándole un valor agregado a su producción por ser un manejo orgánico. Se da el caso que productores en los que el uso del biol les ha permitido aproximarse a una práctica agroecológica de producción,

haciéndose más sostenibles y resilientes. De este modo, los biodigestores, mediante la producción de biol, ayudan a aumentar la independencia del productor respecto a insumos externos, aportándole un valor agregado a su cosecha y al suelo.

Para producir un mejor fertilizante es interesante aumentar los tiempos de retención, de manera que el lodo se descomponga más, y sea de mayor calidad y más fácil de asimilar por las plantas. El fertilizante que sale de un biodigestor con los tiempos de retención mayores es muy bueno, pero si aumentamos estos tiempos de retención en un 25 % es excelente. Aumentar el tiempo de retención implica un mayor volumen del biodigestor y por tanto un mayor costo de materiales.

#### **4.4.1 Ventajas del uso del biol**

- ✓ Puede ser aplicado junto con el agua en aspersores o sistemas tecnificados de irrigación.
- ✓ Mejora y estimula el desarrollo de los cultivos.
- ✓ Se obtiene como residuos de los procesos de digestión anaeróbica.
- ✓ Aumenta el desempeño germinativo en las semillas.
- ✓ Aumenta los nutrientes en el suelo y aumenta la humedad del mismo.

#### **4.5 Biodigestores**

Un biodigestor es un contenedor o reactor anaeróbico con un sello hermético; en el cual se almacenan desechos orgánicos mezclados con agua, que al descomponerse en ausencia de aire generan biogás. El biogás que se obtiene puede sustituir al GLP, y se puede usar para generar electricidad, calefacción, cocción de alimentos e inclusive en motores de combustión interna realizando adaptaciones al motor; para lo cual el biogás debe ser purificado y almacenado previamente en cilindros de alta presión. Además de lo mencionado el biodigestor proporciona un efluente rico en nutrientes denominado biol que sirve de abono orgánico para los cultivos.

Los biodigestores convencionales son utilizados generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos, como el estiércol de bovinos, porcinos y materiales orgánicos de otros animales, los cuales se degradan dentro del biodigestor y producen gas metano o biogás.

Los biodigestores son apropiados para las condiciones técnicas y posibilidades económicas de los países desarrollados y subdesarrollados. La tecnología del biogás está bien

adaptada a las exigencias ecológicas, ambientales y económicas del futuro. Es una tecnología avanzada y de mucha aceptación por tratarse del aprovechamiento de energías renovables.

Actualmente la ciencia y la tecnología han permitido desarrollar la bioenergía de manera eficiente, logrando controlar y mejorar los parámetros que influyen en el proceso de fermentación, también se ha logrado que los problemas de contaminación ambiental producida por las excretas de animales, aguas residuales, desperdicios humanos, etc., puedan revertirse y ser aprovechados tratándolos para obtener un beneficio económico y práctico.

Se puede usar cualquier forma para construir un biodigestor como tanques cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos, dependiendo de las preferencias del usuario y de las facilidades que se tengan para su construcción. Sin embargo, desde el punto de vista físico y del proceso de fermentación no se recomienda emplear tanques rectangulares; porque éstos requieren mayor cantidad de materiales de construcción, y crean dentro de la masa en digestión zonas de diferente composición y temperatura que inciden negativamente en la eficiencia del sistema.

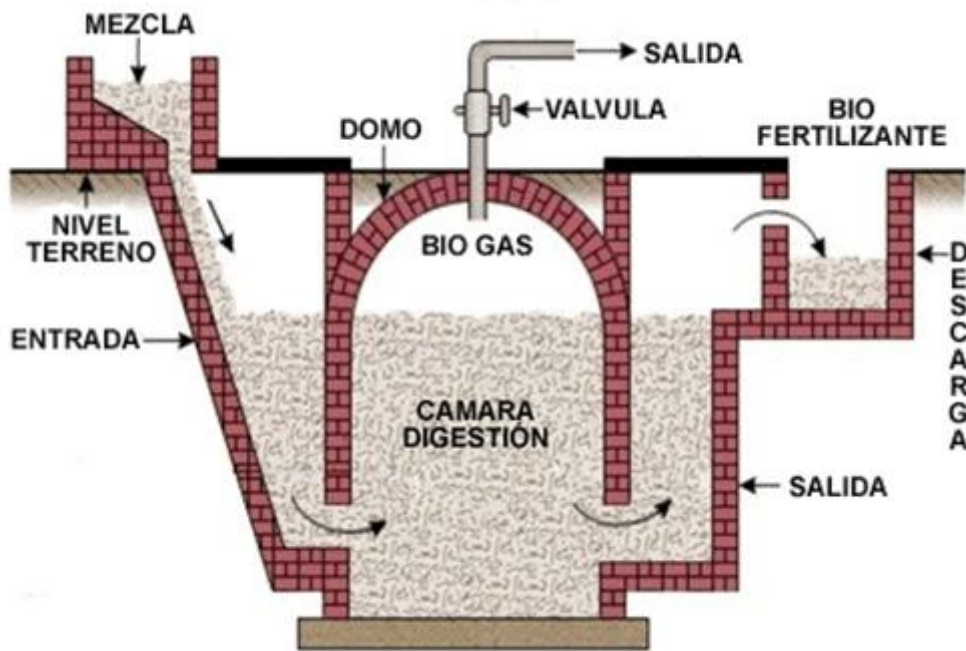
#### ***4.5.1 Tipos de biodigestores***

Existen diferentes tipos de biodigestores, se diferencian por los materiales utilizados en su construcción, por la forma y estructura de sus componentes y por el país o región donde se emplean; en los siguientes párrafos describiremos los tipos de biodigestores más importantes.

#### ***4.5.2 Biodigestor de domo fijo o tipo Chino***

Es uno de los tipos de biodigestor más difundido, tiene forma circular fabricado de ladrillo o mampostería con mortero de cemento, tiene un domo fijo y sin partes metálicas a excepción de un pequeño tramo o tubo de acero para entregar el gas. Se requiere de mano de obra calificada para la construcción de este tipo de biodigestor; en la práctica parece que muchos de estos biodigestores no son completamente herméticos y la fuga del biogás es un problema común.

Según Quinteros (2015) el tanque del biodigestor es un cilindro construido bajo tierra, tiene una altura de 2.5 - 4 veces mayor que su diámetro. La tasa de producción de biogás lograda con este diseño es del 20 al 30 % del volumen del digestor por día. Se coloca un domo invertido sobre la mezcla del digestor para recoger el gas producido. En la medida en que se acumula el gas el tanque de acumulación sube. La capacidad recomendada del tanque de almacenamiento es del 50 al 60% de la producción diaria de gas.



**Figura 4 Biodigestor tipo Chino**  
 Nota: Adaptada de (Quintero Gonzáles, 2015)

#### 4.5.2.1 Características:

- ✓ Se construyen generalmente de hormigón simple, ferro-cemento, o ladrillo
- ✓ No posee un sistema de almacenamiento de biogás.
- ✓ Puede alcanzar presiones de 0.1 a 0.15 bar.
- ✓ La generación de biogás es de 0.15 a 0.20 m<sup>3</sup> /día.
- ✓ Tiempo de retención es de 30 a 60 días.

#### 4.5.2.2 Ventajas:

- ✓ Bajo costo de inversión y larga vida útil.
- ✓ La construcción subterránea ahorra espacio y protege al digestor de los cambios de temperatura.
- ✓ No incluye partes móviles y partes oxidables.
- ✓ El diseño básico es compacto, no requiere de mucho espacio y se encuentra bien aislado.
- ✓ La construcción crea oportunidades de trabajo localmente.

#### 4.5.2.3 Desventajas:

- ✓ Cúpula de gas requiere de impermeabilizante especial y conocimiento técnico para su construcción



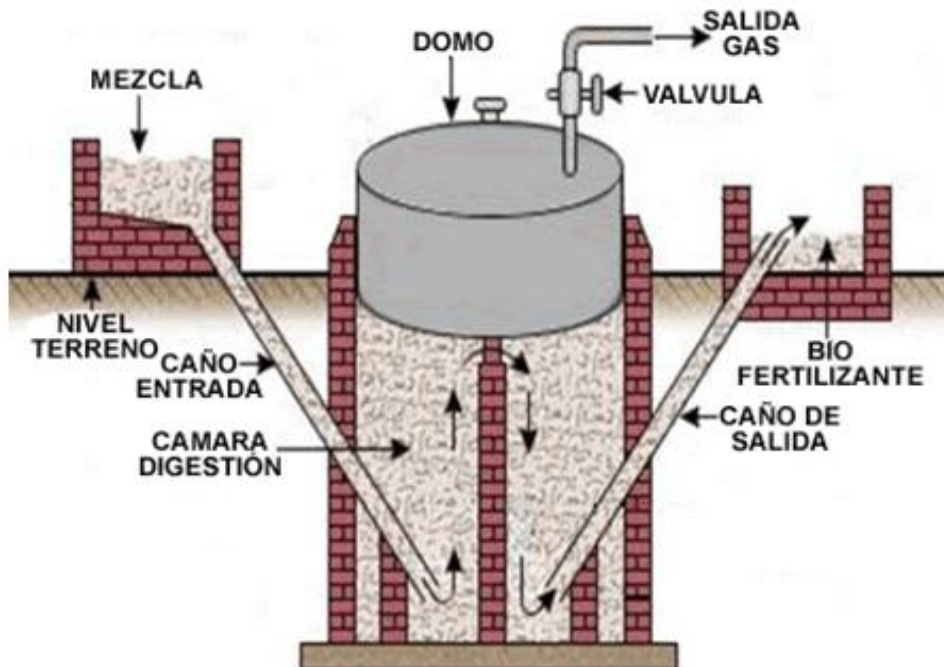
- ✓ El reactor no es completamente impermeable.
- ✓ Una pequeña fractura en el reactor puede causar altas fugas de biogás.
- ✓ La presión variable del biogás complica su utilización, ya que depende principalmente del volumen de gas almacenado.
- ✓ La excavación puede resultar costosa en suelos rocosos.

#### 4.5.3 Biodigestores de domo flotante o tipo Hindú

Este tipo de biodigestores consisten en un digester subterráneo y un recipiente móvil para gas denominado domo. El domo para el gas flota, ya sea directamente sobre la mezcla de fermentación o en una chaqueta de agua. El gas se recolecta en el domo de gas, que se levanta o baja, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado.

Este diseño generalmente es enterrado de manera vertical, teniendo una forma parecida a un pozo, se diferencia del tipo chino porque posee una cúpula flotante la cual sube o baja de acuerdo a la variación de presión que se da por la generación de biogás.

Son excelentes generadores de biogás, pero requieren de un mantenimiento constante debido a que la cúpula flotante puede atascarse con los residuos fibrosos.



**Figura 5 Biodigestor tipo Hindú**  
 Nota: Adaptada de (Quintero Gonzáles, 2015)

##### 4.5.3.1 Características:

- ✓ Se construyen generalmente de hormigón simple, ferro-cemento o ladrillo.

- ✓ El domo puede ser de acero o polietileno de alta densidad.
- ✓ No posee un sistema de almacenamiento de biogás.
- ✓ Posee presión constante de 0.03 bar.
- ✓ La generación de biogás es de 0.5 a 1 m<sup>3</sup>/día.
- ✓ Tiempo de retención es de 10 a 30 días. (Moreno, 2011)

#### **4.5.3.2 Ventajas:**

- ✓ Son de operación simple y fácil de entender.
- ✓ Generan biogás a presión constante.
- ✓ La construcción es relativamente fácil.
- ✓ Son impermeables a fugas de gas, siempre que se realice el mantenimiento adecuado al dispositivo de almacenamiento de gas. (Ramelli & Schleenstein, 2009)

#### **4.5.3.3 Desventajas:**

- ✓ La cúpula de acero es relativamente costosa y requiere de mantenimiento intensivo.
- ✓ Se debe remover óxido de la cúpula, además de ser pintada regularmente.
- ✓ La vida útil de la cúpula de acero es relativamente corta (sobre 15 años, pero en regiones costeras tropicales alrededor de cinco años).
- ✓ Son limitados al uso de ciertos sustratos ya que la cúpula flotante tiende a quedar atascada en sustratos fibrosos. (Ramelli & Schleenstein, 2009).

#### **4.5.4 Biodigestores tubulares**

Este tipo de biodigestores son los más utilizados en nuestro país, debido a su bajo costo, fácil construcción y fácil operación y mantenimiento. El digestor, conocido también como reactor, se fabrica con una bolsa flexible, la cual puede ser de plástico, PVC o geomembrana, en éste se almacenan la materia orgánica y el biogás producido.

A diferencia de los biodigestores mencionados anteriormente, los biodigestores tubulares no se encuentran enterrados en su totalidad bajo tierra, normalmente se colocan en una zanja junto a unas paredes que protegen a la bolsa de posibles daños externos.

Estos biodigestores pueden tener una durabilidad de 20 años, en el caso de presentarse rupturas pueden ser fácilmente reparadas con el mismo material del biodigestor, usando un adhesivo fuerte; la parte reparada debe permanecer seca hasta su

endurecimiento por completo. Cuando se requiera el metano, sólo se ejerce una pequeña presión sobre la bolsa de almacenamiento moviendo de esta forma el biogás a donde se necesita.

El material utilizado en la construcción del digester debe ser resistente a diferentes condiciones climáticas.



**Figura 6** Biodigestor tubular de plástico  
Nota: Adaptada de (Martí Herrero, 2019)



**Figura 7** Biodigestor tubular de geomembrana  
Nota: Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

#### **4.5.4.1 Características:**

- ✓ Se construyen de plástico, PVC o geomembrana.
- ✓ No posee un sistema de almacenamiento de biogás.
- ✓ Posee presión variable de 0.008 a 0.013 bar.
- ✓ La generación de biogás es de 0.4 a 1 m<sup>3</sup>/día.
- ✓ Tiempo de retención es de 15 a 60 días.

#### **4.5.4.2 Ventajas**

- ✓ Fácil de construir y de bajo costo.
- ✓ Fácil operación y mantenimiento de los componentes del biodigestor.
- ✓ Es hermético con lo cual se reducen las pérdidas.
- ✓ Uso sobre el nivel de tierra es factible en lugares con alto nivel de las aguas subterráneas.
- ✓ Se obtienen altas temperaturas de digestión en áreas cálidas.
- ✓ Fácil de limpiar, mantener y su vaciado. (Ramelli & Schleenstein, 2009)

#### **4.5.4.3 Desventajas**

- ✓ Baja presión de gas por lo que se requieren dispositivos para incrementar la presión.
- ✓ Vida útil relativamente corta.
- ✓ Vulnerable a sufrir roturas por condiciones climáticas adversas o por acciones del hombre y animales.

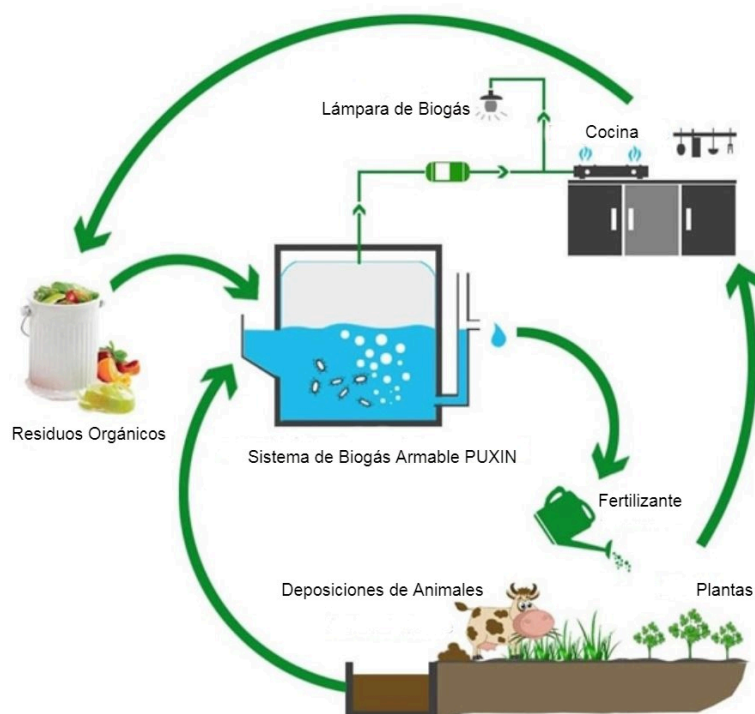
#### **4.5.5 Biodigestores domésticos**

Actualmente existe en el mercado biodigestores que pueden ser utilizados para abastecer de biogás a viviendas unifamiliares, restaurantes, hoteles y resorts; estos biodigestores se caracterizan por ser de tamaño pequeño, son portables y pueden ser armados por las personas que los adquieren. El digestor está compuesto por una estructura metálica con lámina solar hueca, y una bolsa de almacenamiento de geomembrana, los componentes de entrada y salida son de acero inoxidable.

En la figura 8 y figura 9 se muestran el biodigestor doméstico y su esquema de usos.



**Figura 8 Biodigestor doméstico**  
 Nota: Adaptada de (PUXIN, 2020)



**Figura 9 Usos del biodigestor doméstico**  
 Nota: Adaptada de (PUXIN, 2020)

#### 4.5.5.1 Características:

- ✓ El digestor está compuesto de estructura metálicas y bolsa de geomembrana.
- ✓ No posee un sistema de almacenamiento de biogás.
- ✓ Existen en volúmenes de 1.2 m<sup>3</sup>, 2.65 m<sup>3</sup> y 3.4 m<sup>3</sup>.

- ✓ La generación de biogás es de 0.6 a 2 m<sup>3</sup>/día.
- ✓ Tiempo de retención es de 15 a 20 días.

#### **4.5.5.2 Ventajas**

- ✓ Son portables y armables.
- ✓ Fácil operación y mantenimiento de los componentes del biodigestor.
- ✓ Es hermético con lo cual se reducen las pérdidas.
- ✓ Se adaptan a cualquier condición climática.

#### **4.5.5.3 Desventajas**

- ✓ No existen en el medio deben ser importados.

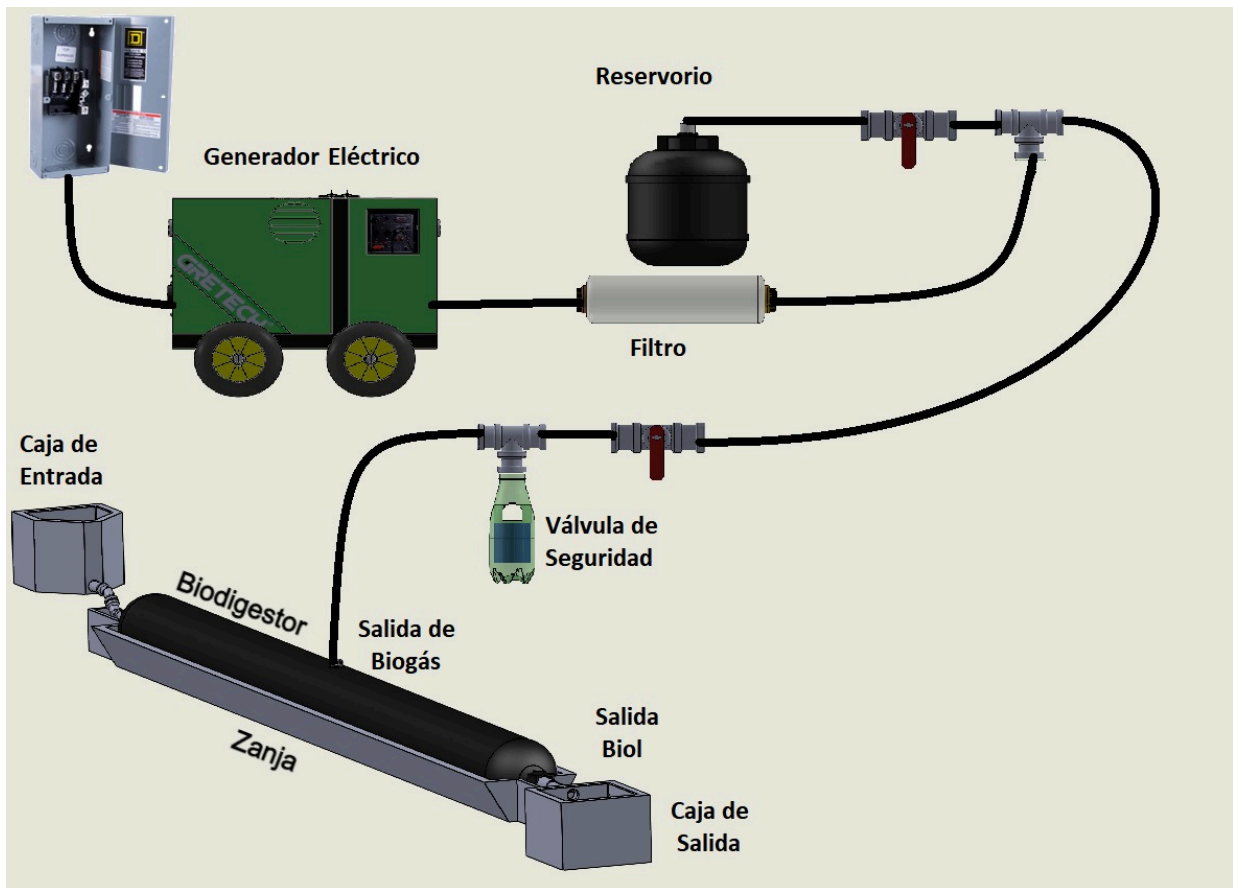
#### **4.5.6 Selección del biodigestor**

En función de las condiciones económicas, constructivas y de operación y mantenimiento, se seleccionó un biodigestor tubular para la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo de la parroquia Malacatos ubicada en el cantón Loja; por ello, en adelante se tratará sobre este tipo de biodigestores.

#### **4.5.7 Componentes de un biodigestor tubular**

Los componentes principales de un biodigestor tubular son los siguientes:

- ✓ Caja de entrada.
- ✓ Biodigestor.
- ✓ Caja de salida o descarga.
- ✓ Tubería de salida de biogás.
- ✓ Válvulas de alivio y de cierre.
- ✓ Tubería de salida de sólidos.
- ✓ Reservorio para almacenar biogás.
- ✓ Filtro desulfurador.
- ✓ Zanja.



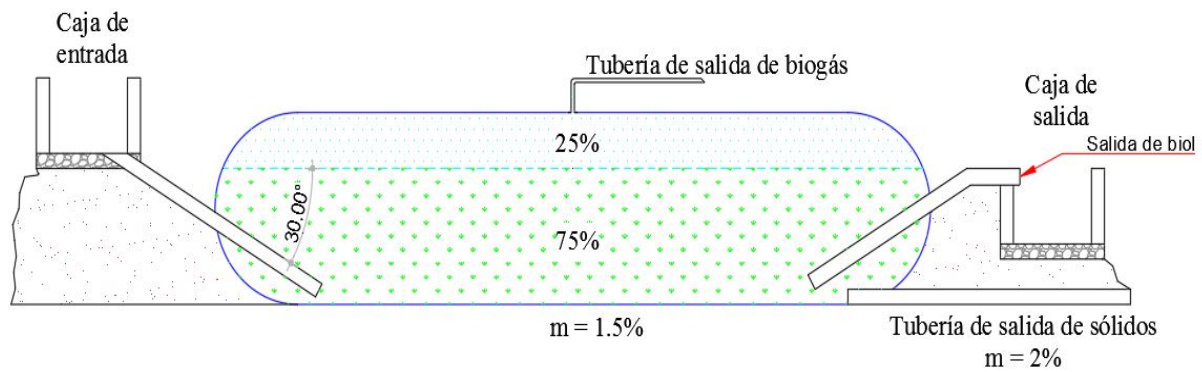
**Figura 10** Componentes de un biodigestor tubular

#### 4.5.7.1 Cajas de entrada y salida

Como sus nombres lo indican son estructuras que se construyen en la entrada y salida del biodigestor, la primera se utiliza para el ingreso de la materia orgánica diluida hacia el biodigestor, y la segunda sirve para la descarga del biol o fertilizante orgánico que se obtiene producto de la digestión anaeróbica.

Normalmente se construyen de ladrillo revestido con mortero de cemento y arena fina; las dimensiones que se recomiendan, para un ingreso sin problemas de la carga diaria, son 60 cm de largo por 60 cm ancho y por 50 cm de profundidad; las cajas se conectan con el biodigestor mediante tuberías de PVC de desagüe, cuyo diámetro se aconseja no sea mayor a 160 mm (6”), generalmente se utiliza 110 mm (4”). Para una normal descarga del biol se recomienda que la caja de salida se construya en un nivel más bajo en relación con el nivel de construcción de la caja de entrada.

Se recomienda que la tubería de carga tenga una inclinación de 30° respecto a la horizontal, esto permitirá que el sustrato fluya por gravedad hacia el biodigestor.



**Figura 11** *Conexión de cajas*

#### 4.5.7.2 Biodigestor

También se conoce con los nombres de digestor o reactor, es el componente más importante para el proceso de descomposición de la materia orgánica, es el lugar donde se produce el biogás y el biol.

En el caso de los biodigestores tubulares, éstos se construyen formado una gran bolsa flexible de forma cilíndrica con la apariencia de una gran salchicha; se pueden emplear diferentes materiales en su construcción, los más usados son plástico, PVC y geomembrana; este último material se recomienda porque tiene mejores propiedades físico-químicas que el resto de materiales, se pueden construir biodigestor de cualquier dimensión, además se puede obtener un mejor sellado porque las uniones se realizan por termofusión.

En el mercado existen geomembranas de diferentes espesores que van desde las 500 micras (0.5 mm) hasta las 2500 micras (2.5 mm); también se pueden encontrar geomembranas lisas o texturizadas. La selección de la geomembrana a utilizar en la construcción del biodigestor depende de las dimensiones de éste, y de las condiciones topográficas y climatológicas del sitio donde se va a construir el biodigestor.

#### 4.5.7.3 Tubería de salida de biogás

Es la tubería que conecta al biodigestor con los diferentes componentes que se instalan para la distribución, control y uso del biogás, se utiliza tubería de PVC o manguera de polietileno que trabajen a presión y que tengan un recubrimiento interno liso, los diámetros empleados normalmente son de 1/2, 3/4 y 1" (pulgadas), la selección del diámetro depende del volumen de biogás producido.



La instalación de la tubería debe ser aérea, no se debe enterrar ya que puede existir acumulación de agua en interior debido a la condensación, igualmente debe evitarse ondulación a fin de facilitar el flujo del biogás.

#### **4.5.7.4 Válvulas de alivio y de cierre**

Durante el proceso de digestión metanogénica, va a existir un incremento de la presión interna en el digestor; razón por la cual, el reactor variará su volumen. Básicamente el aumento de presión es causa de la generación de gases, esta variación de la presión se controlará por medio de una válvula de alivio o de seguridad para mantener un flujo constante, y una presión interna adecuada evitando posibles daños en el biodigestor y en la tubería de salida del biogás. La práctica señala que, para mantener una presión interna adecuada dentro de la campana del reactor, esta debe estar entre 50 y 150 mm de columna de agua, de esta manera se logrará tener un flujo de gas constante y niveles de presión interna dentro del digestor relativamente bajos.

La válvula de alivio o de seguridad estará formada por un recipiente que pueda almacenar agua en su interior, con un agujero que facilite la salida del biogás en caso de haber acumulación excesiva en el reservorio o en el mismo biodigestor. El dispositivo de seguridad también permite retener la humedad proveniente del gas generado y mantener la presión interna del biodigestor en 100mm de columna de agua.

Adicionalmente para el control del flujo del biogás se instalan válvulas de cierre, las cuales son del tipo bola y pueden ser de material plástico o metálico; el diámetro de las válvulas depende del diámetro de la tubería de salida del biogás.

#### **4.5.7.5 Tubería de salida de sólidos**

A la salida del biodigestor, en su parte inferior se instala una tubería para evacuar la parte sólida que queda después de los procesos de descomposición; esta tubería es de PVC para desagüe con un diámetro de 110 mm (4"); para asegurar el flujo por gravedad de los sólidos, la tubería de salida de los sólidos se debe instalar con una gradiente no menor al 2 %.

#### **4.5.7.6 Reservorio para almacenar biogás**

Este reservorio también se conoce como gasómetro y servirá para almacenar el biogás que se obtiene del biodigestor, con el fin de garantizar el suministro normal de acuerdo a la cantidad de biogás que se consuma; se construye con el mismo material del biodigestor. Las dimensiones del reservorio se determinan tomando en cuenta la relación 5:1 entre el volumen del biodigestor y el tanque reservorio.

$$\frac{V_T}{V_R} = 5 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$V_R = \frac{V_T}{5} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$V_T$  = Volumen total del biodigestor

$V_R$  = Volumen del tanque reservorio

#### **4.5.7.7 Filtro desulfurador**

El biogás contiene sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), compuestos orgánicos volátiles, humedad, espumas y partículas en suspensión que tienen que reducirse o eliminarse para evitar daños y para garantizar una larga vida útil de los equipos. La forma de eliminar los componentes indicados es a través de filtros, los cuales se fabrican utilizando como medio filtrante el carbón activado impregnado u óxido de hierro para separar el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ). La separación tiene lugar mediante absorción química catalítica que divide al sulfuro de hidrógeno en sus componentes azufre y vapor de agua.

Existe en el mercado una gran variedad de filtros, el precio depende de los materiales de fabricación y del caudal de biogás a filtrar, este último parámetro es fundamental para la selección del filtro a utilizar.

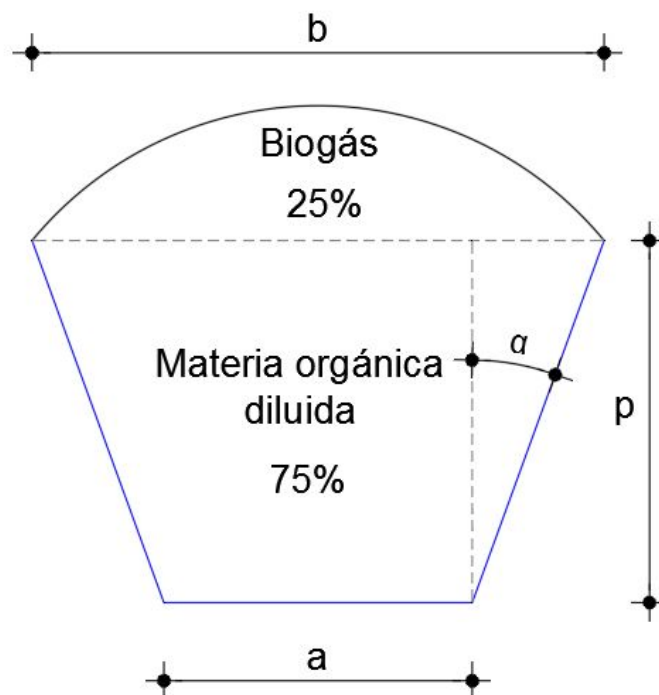
#### **4.5.7.8 Zanja**

Concluida la selección de los materiales para la construcción del biodigestor, se debe tomar la decisión sobre la ubicación del mismo; para el efecto, hay que tomar en cuenta que éste se encuentre muy próximo a una línea de consumo, de acuerdo a la aplicación y al uso que se le va a dar al biogás. Posteriormente se procederá a dimensionar la zanja del biodigestor, la misma que se construirá debajo de la tierra, evitando de esta manera efectos variables de temperatura y pérdidas de calor; la zanja debe estar alejada y libre de cosas afiladas y piedras que puedan causar roturas en la bolsa que conforma el biodigestor, ésta debe ser protegida de cualquier daño que le puedan ocasionar ramas de árboles, cualquier animal doméstico o aves de corral.

En el caso de que el biogás sea usado exclusivamente para uso doméstico, es necesario que el biodigestor esté ubicado a una distancia de 20 m de la cocina y debe encontrarse debajo del nivel de la casa, debido a que el biogás es más liviano que el aire y tiende a subir sin problemas por las líneas de conducción.

La zanja se construye con una sección transversal trapezoidal, ya que en este tipo de sección se acopla de mejor manera el biodigestor y las paredes de las zanjas son más estables. Previo a la ubicación del biodigestor, en la zanja se debe colocar material aislante como plástico o paja para proteger al reactor de cualquier daño que pueda sufrir durante su funcionamiento.

Como se puede apreciar en la figura 12 de la sección transversal de la zanja, ésta será ocupada en su totalidad por la materia orgánica diluida, la cual representa el 75 % del volumen del biodigestor; la parte superior que queda fuera de la zanja será ocupada por el biogás con un 25 % del volumen total.



**Figura 12** Sección transversal de la zanja

En la construcción de la zanja se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ Las paredes de la zanja deben tener una inclinación de  $10^\circ$  a  $15^\circ$  con respecto a la vertical para evitar que las paredes se derrumben.
- ✓ Para el asentamiento de los tubos de carga y descarga de materia prima, serán colocados sobre dos canales ubicados a los costados de la zanja.
- ✓ La base sobre la cual se colocará el biodigestor, tendrá una pendiente de 1.5 % para permitir la circulación del sustrato desde el ingreso hacia la salida.
- ✓ Las paredes y la base de la zanja deben estar libres de elementos corto punzantes para evitar cualquier ruptura del biodigestor.

#### **4.5.8 Factores a considerar en el diseño de un biodigestor tubular**

A continuación, se analizarán los aspectos más importantes a tener en cuenta en el estudio, diseño, planificación y construcción de un biodigestor.

##### **4.5.8.1 Factores humanos y biológicos**

El atender las necesidades de las personas, especialmente de aquellas que no cuentan con acceso a los servicios básicos, es la razón primordial por la cual se diseñan y se construyen los biodigestores; la atención se basa en sus requerimientos que pueden ser sanitarios, energéticos y/o de fertilizantes orgánicos.

Dentro de los factores humanos y biológicos también se consideran los siguientes:

- ✓ Disponibilidad de recursos económicos para la construcción del biodigestor con todos sus componentes.
- ✓ Existencia de materiales de construcción para la ejecución de las obras.
- ✓ Mano de obra disponible en el sector donde se va a construir el biodigestor, debe considerarse tanto la mano de obra calificada como la no calificada.
- ✓ Personal capacitado para la operación y mantenimiento del biodigestor.
- ✓ Disponibilidad de materia prima, es decir la materia orgánica requerida para el funcionamiento del biodigestor; esta materia se obtiene de desechos agrícolas, pecuarios, domésticos, industriales, estiércol de animales, etc.
- ✓ Posibles afectaciones en el área de cobertura del proyecto debido a enfermedades y plagas tanto de humanas como agrícolas y pecuarias.

##### **4.5.8.2 Factores físicos y climáticos**

- ✓ Ubicación del proyecto, se determina la zona donde se va a implementar ya sea urbana, rural o zona de expansión. Debe incluirse la ubicación geográfica con los datos georeferenciados de latitud, longitud y altitud.
- ✓ En los aspectos climáticos del sector se consideran las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial o lluvias, humedad ambiental, radiación solar y los vientos tomando en cuenta intensidad y dirección.
- ✓ En la topografía del suelo se debe considerar si ésta es plana, ondulada o quebrada.
- ✓ Tipo de suelo con sus características como: textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

- ✓ Disponibilidad de agua suficiente para realizar la mezcla de agua con estiércol y para realizar la limpieza y mantenimiento del biodigestor y sus componentes.
- ✓ Vías de acceso hacia el sector donde se construirán las obras, a fin de facilitar el transporte de los materiales de construcción, materia orgánica y el personal.

#### **4.5.8.3 Factores constructivos**

En estos factores se consideran las técnicas de construcción y los materiales empleados como plástico, PVC o geomembrana, siendo esta última la más recomendada por contar con mejores propiedades físicas, químicas y mecánicas, que el resto de materiales.

#### ***4.5.9 Proceso de construcción de un biodigestor tubular***

El proceso de construcción de un biodigestor tubular no es complejo, es más fácil que los otros tipos de biodigestores; para asegurar una correcta ejecución de las obras se recomienda seguir los pasos sugeridos para la realización de las actividades siguientes:

##### **4.5.9.1 Preparación del terreno**

Previo a la ejecución de las obras se debe preparar el terreno realizando las siguientes actividades:

- ✓ Selección y ubicación del área donde se construirán las obras; procurando que esta área se encuentre cerca del sitio donde se obtendrá la materia prima, pero debe estar alejada de mantos acuíferos, tuberías de agua, árboles grandes y de las zonas de tráfico continuo de personas y animales; además debe estar ubicada en un sitio donde reciba el sol durante la mayor parte del día.
- ✓ Limpieza y desbroce del terreno donde se implantará el sistema de generación de biogás con todas sus partes y componentes.
- ✓ Replanteo manual de todos y cada uno de los componentes del biodigestor, marcando claramente los sitios donde se ubicarán las cajas de entrada y salida, el biodigestor y las tuberías.



**Figura 13** *Replanteo para excavaciones*  
*Nota: Adaptada de (Cotrina, 2011)*

#### **4.5.9.2 Excavaciones**

Las excavaciones se realizarán manualmente y servirán para la conformación de la zanja, y para la implantación de las cajas de entrada y salida con sus respectivas tuberías de conexión con el biodigestor.

- ✓ La zanja se excavará conformando una sección trapezoidal y con las dimensiones que constan en los planos de diseño; el fondo donde descansará el biodigestor tendrá una pendiente del 1.5%, con la finalidad de facilitar el flujo de la materia orgánica desde la entrada hasta la salida. Las paredes de la zanja deben tener la inclinación establecida en los diseños para asegurar la estabilidad de las mismas.
- ✓ Para la construcción de las cajas de entrada y salida, las excavaciones se realizarán con un sobre ancho de 20 cm a cada lado, para facilitar la construcción de las mismas. El nivel del fondo de la caja de entrada debe coincidir con el nivel correspondiente a la altura de la zanja; el cual también debe ser igual al nivel de la parte superior de la caja de salida.

- ✓ Las excavaciones para la instalación de las tuberías de entrada y salida, deben hacerse de acuerdo al diámetro de las tuberías y tomando en cuenta el espacio requerido para dicha instalación. La excavación para la tubería de salida de sólidos debe tener una inclinación del 2 % para facilitar la evacuación de los mismos; esto equivale a dejar 2 cm de desnivel por cada metro de longitud.



**Figura 14** *Excavación y conformación de la zanja*  
*Nota: Adaptada de (Cotrina, 2011)*

Después de la excavación y conformación de la zanja, a ésta se la debe acondicionar colocando plásticos como aislante para evitar daños en el reactor o biodigestor, varios autores recomiendan colocar espuma flex en la base de la zanja sobre el plástico; en la figura 15 se muestra como colocar el plástico en la zanja.



**Figura 15** *Protección del biodigestor*  
*Nota:* Adaptada de (Cotrina, 2011)

#### **4.5.9.3 Fabricación del biodigestor tubular**

Actualmente se usa bastante la geomembrana de polietileno de baja densidad para la fabricación de biodigestores tubulares, debido a que es un material más resistente y tiene mejores propiedades físicas, químicas y mecánicas que el resto de materiales. Con la geomembrana se puede construir biodigestores de cualquier dimensión y longitud, estos reactores son herméticos porque las uniones se realizan por termofusión o por sellado de alta frecuencia. En el mercado existen biodigestores tubulares prefabricados, listos para ser instalados y utilizados en el sector donde los requieran.





**Figura 16** *Biodigestor tubular de geomembrana*

*Nota:* Adaptada de (CIDELSA, 2018)

En la fabricación de un biodigestor tubular de geomembrana se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ La fabricación del biodigestor debe realizarse sobre una superficie libre de piedras, palos u otros objetos que puedan dañar la geomembrana.
- ✓ El ancho de la geomembrana debe ser igual a la circunferencia de la sección circular del biodigestor, debe adicionarse 10 cm para el traslape en la unión por termofusión; la longitud de la geomembrana es igual a la longitud del biodigestor; con las dimensiones indicadas se conforma el cilindro principal, al cual se coloca una tapa a cada lado para conformar el reactor; previo a la unión de las tapas, en éstas deben instalarse las tuberías de entrada y salida y la tubería para la salida de sólidos; el biodigestor queda como se aprecia en la figura 16.
- ✓ También los biodigestores tubulares se pueden fabricar como una gran salchicha; para el efecto, debe adicionarse 50 cm en cada extremo de la longitud del reactor para amarrarse firmemente con las tuberías de entrada y salida; debe chequearse que los amarres se hagan adecuadamente para evitar fugas, en lo posible usar ligas de caucho para hacer los mismos y lograr un cierre hermético.
- ✓ Terminada la fabricación del biodigestor tubular se procede a inflarlo con aire para darle su forma característica, en esta actividad se debe tener mucho cuidado para detectar posibles fugas, en caso de existir se realizarán las correcciones

correspondientes, a fin de contar con un biodigestor tubular libre de fallas y de arrugas listo para acomodarlo en la zanja.

#### 4.5.9.4 Instalación de la salida de biogás

La salida de biogás debe instalarse antes de sellar completamente el biodigestor y se ubica en la parte superior del mismo, en la cúpula que se formará debido al biogás; se recomienda ubicarla a uno o dos metros del extremo que corresponde a la entrada del biodigestor. A continuación, se detallan los accesorios requeridos y los pasos a seguir para la instalación de la salida de biogás.

- ✓ Con el cuidado que el caso amerita realizar un agujero en el sitio donde se instalará el adaptador para la salida de biogás, el diámetro del agujero debe ser menor al del accesorio que se va a instalar.
- ✓ Colocar dos empaques de neumático de 0.3 cm. de espesor y 2.5 cm de diámetro interior.
- ✓ En la perforación que se realizó colocar un adaptador macho – hembra de 2.54 cm de diámetro, también conocido como adaptador de tanque.
- ✓ Colocar dos arandelas de hule, las mismas que van en el interior y exterior del agujero que se hizo.
- ✓ En lo posible se deberá pegar las arandelas con los empaques de neumático para formar un sello único y evitar posibles fugas de gas.
- ✓ El ajuste de los accesorios debe ser controlado con el fin de evitar rupturas a la geomembrana, y para formar un sello mecánico evitando cualquier fuga.



**Figura 17** *Instalación de la salida de biogás*  
*Nota: Adaptada de (Martí Herrero, 2019)*

#### **4.5.9.5 Instalación del biodigestor**

Antes de colocar el digestor en la zanja, se procede a llenarlo de aire con el fin de detectar algún tipo de fugas y con el fin de posicionarlo correctamente en la zanja.

Para llenar de aire al biodigestor las tuberías entrada y salida deben estar selladas para evitar el escape del aire; para facilitar el trabajo se puede usar un soplador eléctrico o mecánico. El ingreso del aire se realiza por la tubería de salida del biogás que se ubica en la parte superior del biodigestor.

Estando el digestor lleno de aire, se procede a colocarlo en la zanja, se lo traslada entre varias personas teniendo cuidado de no dañarlo con ningún objeto corto punzante. Esta actividad se debe realizar con mucho cuidado, procurando que el biodigestor quede centrado con las tuberías de entrada y salida correctamente ubicadas. El biodigestor se debe acomodar de la mejor manera dentro de la zanja procurando que no queden arrugadas.

A continuación, se procede con la instalación de las tuberías de carga y descarga como se muestra en la figura 11; se emplea tuberías de PVC sanitarias con un diámetro mínimo de 110mm, las longitudes dependen de la ubicación de las cajas de entrada y salida respectivamente; las tuberías deben fijarse en las cajas mediante el uso de hormigón simple. Es muy importante chequear la ubicación de las tuberías de entrada y salida, tomando en cuenta que la descarga del biodigestor se da por el efecto de los vasos comunicantes. El nivel del volumen líquido del biodigestor lo establece la boca de salida, la cual es equivalente a la profundidad de la zanja; se recomienda que la caja de entrada debe quedar a 30 cm por encima del nivel del sustrato. También se debe tapar la tubería de salida para evitar el ingreso de oxígeno al digestor, hasta cuando se encuentre operando con el 75 % de la materia a descomponer.

Una vez que está bien colocado el biodigestor y realizadas las instalaciones correspondientes, se procede con la primera carga del biodigestor, procurando llenarlo con materia orgánica diluida hasta la tercera parte de la altura de la zanja, se debe chequear que las bocas interiores de las tuberías de entrada y salida queden sumergidas en la mezcla, con ello se logra un sello hidráulico que no permitirá la salida del aire. Posteriormente se continuará con la carga diaria calculada en función de la materia orgánica o estiércol disponibles.

Finalmente se recomienda proteger al biodigestor con algún tipo de cerramiento de bajo costo, para evitar que los animales lo dañen, también se recomienda colocar una cubierta translúcida que puede ser de policarbonato o polipropileno para zonas de clima frío, y para zonas de clima caliente se puede usar cubiertas de zinc.

#### **4.5.9.6 Instalación de la válvula de alivio de biogás**

La digestión anaeróbica en el interior del biodigestor genera gases que provocan un aumento de presión, la cual debe ser controlada por medio de una válvula de alivio, para mantener un flujo constante y una presión interna adecuada evitando posibles daños en el biodigestor.

La válvula de alivio se conforma colocando una tee en la tubería o manguera que conduce el biogás, de modo que, por un lado, viene el biogás desde el biodigestor y por el lado opuesto el biogás sigue hacia el punto de consumo; en la parte inferior de la tee se coloca una tubería de unos 30cm. Esta tubería vertical se introduce en una botella o recipiente con agua, de modo que se forma un sello hidráulico.

La presión máxima a la que se pone el biodigestor viene dada por la cantidad de cm que se sumerge la tubería de 30 cm dentro del agua. Para biodigestores de plástico de invernadero esta presión puede ser de unos 12 – 15 cm de columna agua. Para biodigestores prefabricados dependerá del fabricante, pero normalmente en biodigestores de geomembrana de PVC no se supera los 5 – 8 cm y en los de geomembrana de polietileno se pueden superar los 20cm. En biodigestores contruidos con geomembrana de polietileno de 500 micras soldada de forma tubular, la presión puede estar entre 15 y 20 cm.

La válvula de alivio de biogás es de fácil fabricación, está compuesta por la tee, una botella o recipiente de plástico transparente con agua, una tubería de PVC o manguera de polietileno de 30cm que se sumerge en el agua tantos centímetros como presión máxima se desea. Después de la válvula y a continuación de la tee se debe instalar una llave de paso tipo bola, la cual se utiliza para controlar el flujo del biogás y en caso de emergencia éste pueda escapar por la válvula de alivio.

La válvula de alivio se suele fijar en un poste o pared cercana a la zanja a una distancia entre dos o tres metros de la salida del biogás. En caso de que el biodigestor esté bajo un techo o dentro de un invernadero, la válvula de alivio debe instalarse fuera de la zona cubierta.

Para controlar el llenado de la botella o recipiente plástico, se recomienda que una vez que la tubería se ha sumergido en el agua los centímetros deseados, marcar el nivel del agua en la botella y sobre ésta realizar pequeños agujeros para evitar excesos de agua.



**Figura 18** *Válvula de alivio de biogás*  
*Nota:* Adaptada de (Reinaldo et al., 2010)

#### **4.5.9.7 Fabricación del filtro o trampa de ácido sulfhídrico**

También se conoce como filtro desulfurador, tiene como función atrapar el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) causante de olores desagradables presentes en el biogás; estos olores provienen de la descomposición de compuestos orgánicos que contienen azufre, tales como proteínas y orina que se encuentran en el estiércol de los animales, especialmente caprinos y bovinos. El sulfuro de hidrógeno en niveles altos puede ser tóxico y además corroe los elementos metálicos; por esta razón es necesario atraparlo utilizando lana de hierro colocada dentro del filtro como elemento principal.

Este tipo de filtro puede ser fabricado tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Se instala después de la válvula de alivio o protección.
- ✓ La lana de hierro debe ser reemplazada cada mes o cada vez que exista mal olor en la entrega del biogás.
- ✓ El filtro se fabrica con materiales de PVC, los accesorios utilizados deben permitir un fácil recambio de la lana de hierro, para su elaboración se utilizan los materiales siguientes:
  - 1 pedazo de tubo de 2" x 20 cm.
  - 2 pedazos de tubo de 2" x 10 cm.
  - 2 uniones universales de 2".
  - 2 reductores de 2" a 3/4".
  - 2 uniones mixtas lisa y rosca de 3/4".
  - 2 adaptadores machos para manguera de 3/4".
- ✓ Las conexiones se realizarán utilizando pegamento para PVC, y en el caso de las uniones roscadas se usará teflón para sellar y evitar fugas del biogás.



**Figura 19** *Materiales y filtro desulfurador*  
 Nota: Adaptada de (CIDAR, 2016)

#### **4.5.9.8 Instalación de la conducción de biogás**

La conducción del biogás se puede hacer con manguera de polietileno con una presión de trabajo mínima de 80psi, también se puede usar tubería PVC de presión roscada; el diámetro a usar depende del volumen del biodigestor y por ende de la cantidad de biogás a conducir, normalmente se utilizan diámetros que van desde 1/2" a 1", la selección del diámetro igualmente depende de la distancia a conducir el biogás hasta el punto de consumo.

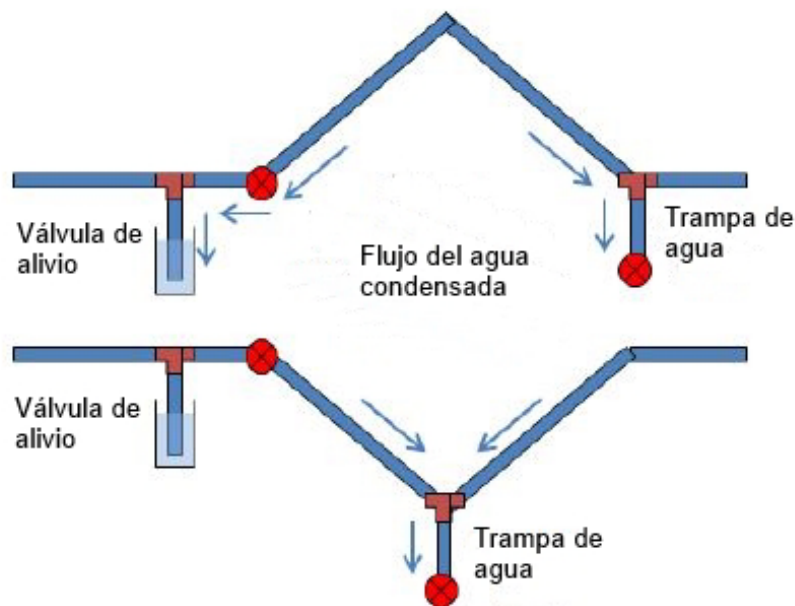
Para la instalación de la manguera o tubería de conducción del biogás se realizan las siguientes recomendaciones:

- ✓ Deben instalarse al aire libre, no debe ser enterradas para evitar los problemas de condensación que impiden el normal flujo del biogás.
- ✓ Mantener el mismo diámetro de la tubería y los accesorios, de éstos deben usarse la menor cantidad posible para disminuir las pérdidas del flujo.
- ✓ Evitar cambios de dirección y quiebres bruscos, igualmente evitar que la manguera se cuelgue demasiado formando curvas, porque el agua condensada se acumula en los puntos más bajos.
- ✓ Instalar la tubería con pendiente para facilitar el flujo normal del biogás, en los puntos más bajos instalar una trampa de agua para drenar el agua acumulada por condensación.

#### **4.5.9.9 Ubicación de trampas de agua**

Una trampa de agua es un dispositivo que permite drenar o purgar el agua que se acumula en los puntos más bajos de la conducción del biogás; el agua se presenta por la condensación del vapor de agua que acompaña al biogás; por ello, la tubería debe instalarse con una pendiente para facilitar el flujo del agua hacia los puntos más bajos.

En su forma más simple, una trampa de agua se puede confeccionar instalando en un punto bajo de la conducción del biogás, una tee con un pedazo de tubo y una llave de paso. La llave de paso permanecerá siempre cerrada y sólo se abrirá de vez en cuando para drenar el agua condensada que se haya acumulado en ese punto bajo.



**Figura 20** Trampa de agua y su ubicación  
*Nota:* Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

#### 4.5.9.10 Ubicación del reservorio de biogás

Normalmente se construye con el mismo material del biodigestor, es recomendable usar geomembrana por los esfuerzos a los que va a estar sometido por las acciones de inflar y desinflar; las dimensiones del reservorio se determinan en su función de su volumen, el cual se determina en una relación de 5:1 entre el volumen total del biodigestor y el volumen del reservorio.

El reservorio de biogás se ubica cerca del punto de consumo, normalmente antes del filtro de ácido sulfhídrico; se conecta a la conducción de biogás mediante una tee, de modo que cuando esté vacío ingrese el biogás a ocuparlo, y cuando esté lleno y se use el biogás en el punto de consumo, el biogás salga por la misma conexión.

Para lograr un incremento de la presión de biogás en el punto de consumo, se recomienda construir una estructura abatible o movable que permita ejercer presión sobre el reservorio, se puede adicionar peso con sacos de arena sobre la estructura o cualquier mecanismo que ayude a incrementar la presión. Los reservorios de biogás se pueden construir tanto horizontal como verticalmente.



**Figura 21** *Reservorio de biogás vertical*  
*Nota: Adaptada de (CIDELSA, 2018)*

#### ***4.5.10 Operación y mantenimiento de un biodigestor tubular***

##### **4.5.10.1 Operación**

- ✓ Cargar diariamente al biodigestor con la carga definida en el diseño, evitar que ingresen hojas, pajas, ramas y material granular al interior del biodigestor. La carga diaria debe estar bien mezclada, el estiércol tiene que estar perfectamente diluido sin la presencia de grumos. Se recomienda la construcción de una poza para facilitar la mezcla diaria de estiércol y agua.
- ✓ Chequear siempre que la carga diaria sea la correcta, un exceso puede afectar a la producción de biogás, la calidad del biol y un posible incremento de la acidez del biodigestor, lo cual afecta al proceso de descomposición de la materia orgánica. En cambio, un decremento en la carga diaria puede disminuir la producción de biogás.
- ✓ Revisar que las instalaciones estén bien y que las válvulas de paso estén abiertas para el flujo normal del biogás hacia el gasómetro y hacia el punto de consumo; de igual forma se debe revisar que no existan perforaciones en el biodigestor y en el reservorio de biogás, a fin de evitar fugas del biogás.



- ✓ En la salida del biol, en días secos, se puede formar una costra o capa dura; si en la carga del biodigestor esta capa no cede y no sale por sí misma, hay que romperla utilizando utensilios o herramientas que no dañen al biodigestor.
- ✓ Con cada carga diaria sale una cantidad igual de biol (tanto entra tanto sale), este líquido se debe recolectar con un recipiente para ser dispuesto como fertilizante en el lugar deseado, luego de dejarlo en contacto con el aire por al menos medio día para que se oxigene.
- ✓ Chequear la presión en el gasómetro para que biogás fluya sin inconvenientes por la tubería de conducción hacia el punto de consumo.

#### **4.5.10.2 Mantenimiento**

- ✓ Revisar que la válvula de alivio tenga el agua suficiente y en el nivel requerido para controlar posibles fugas del biogás, y evitar que el biodigestor se desactive por el ingreso de aire. El nivel del agua puede disminuir por evaporación o por posibles daños en la válvula de alivio; además se debe chequear que el pedazo de tubo se encuentre sumergido en el agua los centímetros que se requieren.
- ✓ Purgar el agua que se acumula en la trampa de agua para facilitar la normal circulación del biogás. Cuando el biogás se utiliza en cocinas, la llama sube y baja, esto es un indicador de que el biogás está atravesando por burbujas y zonas con agua.
- ✓ Cambiar la lana de hierro en el filtro desulfurador, esto se debe hacer cuando exista mal olor o se sienta la boca con sabor metálico, esto es un claro indicador de presencia de ácido sulfhídrico. Para cambiar la lana de hierro se abren las uniones universales, se separa el pedazo de tubo intermedio, se retira la lana de hierro corroída y se cambia por una nueva.
- ✓ Reparar posibles perforaciones que se produzcan tanto en el biodigestor como en el gasómetro; para ello se utilizan parches del mismo material, los cuales se unen con pegamento de PVC y ejerciendo la suficiente presión para un correcto pegado.
- ✓ Periódicamente masajear al biodigestor para evitar la formación de costras en el interior del mismo; para ello basta con empujar con el pie el biodigestor a la altura del nivel de agua interior, varias veces cada semana, preferiblemente cerca de la carga del biodigestor.

- ✓ Periódicamente realizar la evacuación de los lodos que se encuentran en el fondo del biodigestor; esto se realiza a través de la tubería de salida de sólidos.
- ✓ Mantener limpia el área del biodigestor, desalojando todo tipo de materiales o herramientas que puedan dañarlo; limpiar drenes para evacuar el agua que se acumule alrededor del biodigestor.

## **4.6 Generador Eléctrico**

Los generadores son máquinas diseñadas para transformar la energía química, solar, mecánica, etc. en energía eléctrica; aprovechan los fenómenos naturales con sus características físicas y químicas como la luz solar, la fuerza y velocidad del viento, los componentes químicos de los residuos orgánicos, etc. para obtener electricidad.

### ***4.6.1 Tipos de generadores eléctricos***

La humanidad con el pasar de los años ha descubierto diferentes métodos para generar energía eléctrica aprovechando los fenómenos naturales, o el uso de recursos no renovables y renovables. Existen diferentes tipos de generadores entre los que se destacan:

- ✓ Generadores Electroquímicos
- ✓ Generadores Fotovoltaicos
- ✓ Generadores Electromecánicos

### ***4.6.2 Generadores electroquímicos***

Los generadores electroquímicos tienen la característica de transformar las reacciones químicas en corriente eléctrica; un ejemplo fácil de entender, cómo se observa en la figura 22, son las pilas usadas en el hogar y las baterías de los vehículos que aprovechando sus componentes químicos proporcionan electricidad a pequeños aparatos de uso cotidiano.



**Figura 22** Ejemplos de generadores electroquímicos  
*Nota:* Adaptada de (Manuel Torres, Generadores y Acumuladores)

#### 4.6.3 Generadores fotovoltaicos

Los generadores fotovoltaicos aprovechan la energía proporcionada por el sol, estos generadores se conectan junto a paneles solares, como se puede apreciar en la figura 23, para absorber la luz y almacenar la energía en el generador para su posterior uso.

El principal inconveniente de estos generadores es su dependencia de la energía solar, por lo que aspectos como nubes, lluvia o tormentas de arena afectan significativamente el rendimiento del generador; así mismo el tiempo requerido para producir energía eléctrica suele ser prolongado, por lo que es un aspecto a tomar en cuenta al adquirir estos dispositivos.



**Figura 23** Componentes de un generador fotovoltaico  
*Nota:* Adaptada de (Manuel Torres, Generadores y Acumuladores)

#### 4.6.4 Generadores electromecánicos

Son los generadores más utilizados en el mundo, convierten la energía mecánica en energía eléctrica, esto es posible gracias al fenómeno que descubrió el científico Michael

Faraday y que se nombró como la Ley Faraday, el cual nos indica que para lograr generar una corriente eléctrica se necesita de la existencia de un movimiento entre el conductor y el campo magnético; en resumen los generadores producen energía eléctrica utilizando un campo magnético para generar electrones, son lo opuesto a los motores eléctricos.

Utilizan diferentes tipos de combustibles para funcionar entre los que se destacan:

- ✓ Diésel
- ✓ Gasolina
- ✓ Propano
- ✓ Gas Natural

Este tipo de generador será el utilizado en el presente proyecto, el mismo que aprovechará el biogás generado en el biodigestor tubular como fuente de combustible, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.

#### **4.6.4.1 Partes de un generador eléctrico**

Generalmente los generadores están formados por los siguientes componentes:

**Motor:** Encargado de producir la energía mecánica del sistema, trabajan con diferentes combustibles, gasolina, diésel, propano y en nuestro caso con biogás.

**Alternador:** Es la parte del sistema que transforma la energía mecánica del motor en energía eléctrica, formado por partes fijas como el estator y móviles como el rotor para lograr dicho proceso.

**Sistema de Combustible:** Tanque diseñado para almacenar combustible necesario para trabajar en periodos de 6 a 8 horas, algunos generadores permiten expandir este tanque mediante tuberías para conectarlos en otros sistemas como por ejemplo un biodigestor.

**Regulador de Voltaje:** Su función es como su nombre lo indica regular la tensión de salida del generador.

**Sistemas de Enfriamiento:** Para que el sistema trabaje en óptimas condiciones es importante mantener la temperatura a niveles estables, los refrigerantes usados comúnmente son el agua para generadores pequeños e hidrogeno para unidades más grandes.

**Tanque de Lubricación:** Es una bomba que contiene en su interior aceite lubricante, los motores y generadores necesitan lubricación para que los componentes móviles puedan trabajar con facilidad y alargar la vida útil de las piezas.

**Batería:** Se la utiliza principalmente para realizar el arranque del motor, almacena un poco de la energía producida por el generador para recargarse.

**Panel de Control:** Es la interfaz donde se encuentra ubicados la mayoría de botones, switch y palancas para administrar el funcionamiento del generador según las necesidades del operador.

**Bastidor:** Son carcasas o estructuras metálicas que cumplen la función de soporte, protección y traslado del generador.

#### ***4.6.5 Protecciones termomagnéticas***

También conocidas en la localidad como Breakers son piezas fundamentales para la protección eléctrica de las viviendas y locales comerciales, las sobrecargas y sobre corrientes son fenómenos que pueden poner en peligro a los aparatos eléctricos que se encuentran en funcionamiento dentro de la Sede, estas protecciones se encuentran instaladas en los tableros de distribución.



**Figura 24** *Tipos de protecciones termomagnéticas*  
*Nota:* Adaptada de (Bricos, Tableros de distribución)

#### ***4.6.6 Tableros de distribución***

Los tableros de distribución son gabinetes metálicos donde se instalan diferentes dispositivos de conexión, seguridad, comando, alarma y señalización, que realizan un trabajo en específico en el sistema eléctrico.

Su principal característica es controlar y proteger a todos los circuitos en los que se distribuye la instalación, sus componentes están diseñados para soportar la corriente de todo el sistema eléctrico permitiendo su óptimo desempeño en el lugar instalado.



**Figura 25** *Tablero de distribución*

*Nota:* Adaptada de (Bricos, Tableros de distribución)

Existen varios tipos de tableros entre los que se destacan

**Tablero Principal de Distribución:** Conectado en la línea eléctrica principal es el encargado de distribuir la energía a las derivaciones eléctricas del lugar.

**Tablero Secundario:** Se encuentran instalados luego del tablero principal, son protecciones auxiliares y se colocan en puntos clave en caso de alguna emergencia.

**Tablero de Paso:** Tableros encargados de proteger conexiones que por alguna circunstancia no pueden ser colocadas en los tableros principales o secundarios.

**Tablero de Comando:** Aparte de proteger al sistema también poseen dispositivos que permiten operar y maniobrar al sistema eléctrico.

Para su óptimo funcionamiento y garantizar la seguridad de las personas que van a utilizar el sistema eléctrico es importante tomar en cuenta varios aspectos al momento de realizar el diseño eléctrico entre los que se destacan:

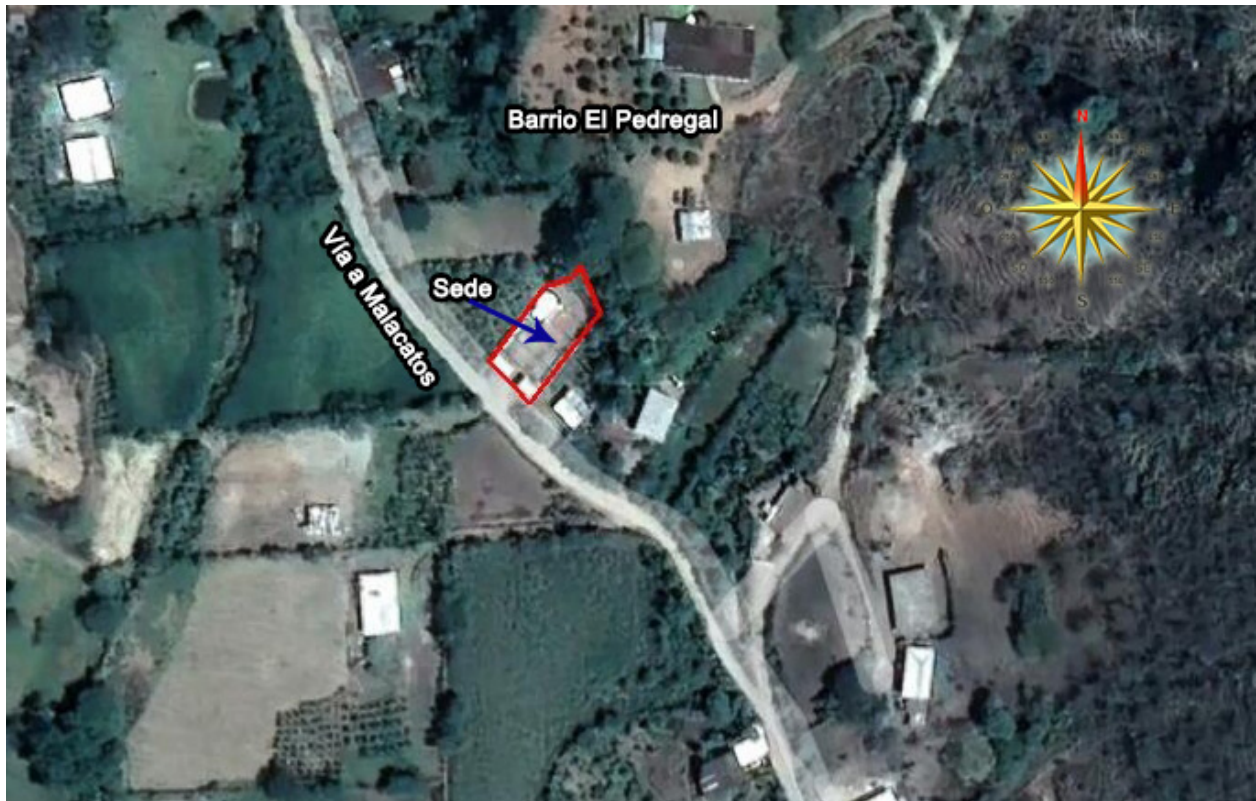
- ✓ Potencia que van a utilizar
- ✓ La ubicación del tablero
- ✓ El mantenimiento del dispositivo

## **4.7 Descripción del Área de Estudio**

### **4.7.1 Ubicación**

El proyecto se construirá en los terrenos de la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo; la cual está ubicada en el barrio El Pedregal de la parroquia rural Malacatos, cantón y provincia de Loja.

El barrio El Pedregal se encuentra en la zona rural de la parroquia Malacatos, al noroeste del centro parroquial, se comunica con éste por medio de una vía de cuarto orden, parcialmente lastrada.



**Figura 26** *Ubicación de la sede*

*Nota:* Adaptada de (GOOGLE EARTH, 2021)

La sede de la JAAP-S se ubica en las coordenadas geográficas siguientes:

- Latitud: 4° 12' 18" S
- Longitud: 79° 16' 7" W
- Altura sobre el nivel del mar: 1577 m

#### **4.7.2 Cobertura y Uso del Suelo**

La parroquia Malacatos ocupa una superficie total de 20,594.97 ha, de las cuales 4,3326.97 ha, equivalen al 21.00% correspondiente a la cobertura de bosque nativo, el cual se ubica en la zona oriental de la parroquia coincidente con relieves montañosos y colinados de la serie Zamora. El bosque nativo se usa para protección y conservación.

La vegetación arbustiva y herbácea cubren el 43.35% del territorio, y esta cobertura se da a lo largo de todo el territorio. En cuanto a los pastizales estos cubren una superficie del 19,79% del territorio parroquial y se ubican en relieves con pendientes medias y fuertes.

**Tabla 5** Cobertura y uso del suelo de la parroquia Malacatos

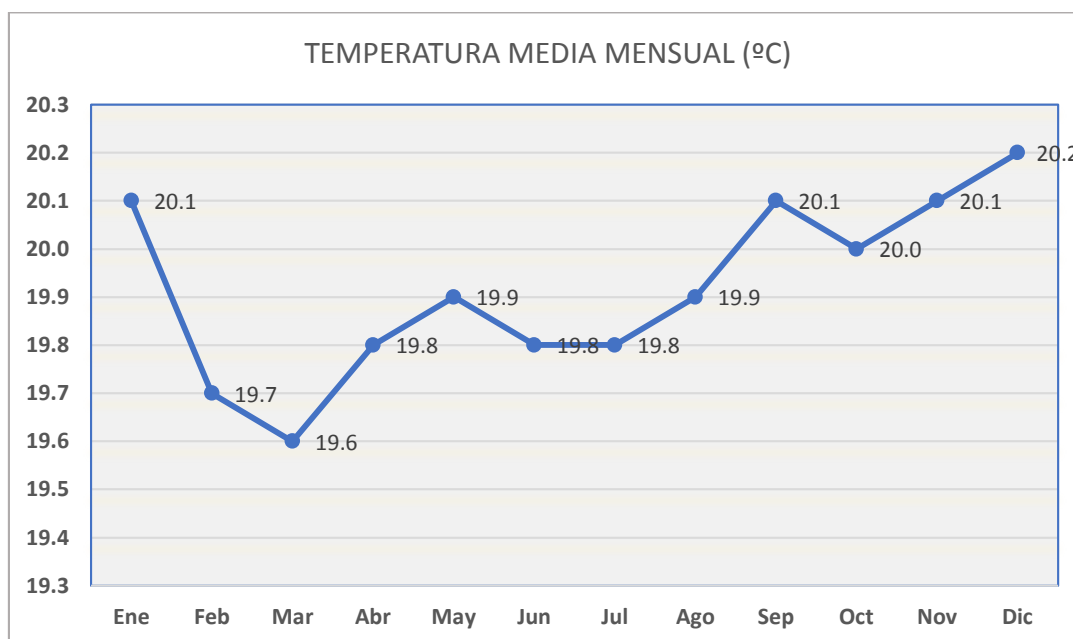
COBERTURA	AREA (ha)	%
Área poblada	155.22	0.75
Bosque nativo	4326.97	21.00
Cuerpo agua	57.31	0.28
Cultivo	1516.01	7.36
Erial	207.40	1.01
Infraestructura antrópica	25.31	0.12
Mosaico agropecuario	124.83	0.61
Páramo	889.11	4.32
Pastizal	4074.96	19.79
Plantación forestal	289.39	1.41
Vegetación arbustiva	5371.14	26.08
Vegetación herbácea	3557.32	17.27
<b>TOTAL</b>	<b>20594.97</b>	<b>100.00</b>

*Nota:* Adaptada de (Autor, adaptada de (SIGTIERRAS, 2020))

Es importante destacar que la parroquia Malacatos posee porcentajes mayores de cultivos y pastizales en relación con todas las parroquias colindantes a ésta.

#### 4.7.3 Temperatura

La temperatura promedio anual de la parroquia Malacatos es de 20 °C, en la figura 27 se presentan las temperaturas promedio en los diferentes meses del año.



**Figura 27** Temperatura media mensual de Malacatos en el año 2011

*Nota:* Adaptada de (MAGAP, 2012)



La temperatura es un factor muy importante para el diseño de un biodigestor, en función de ella se establece el tiempo de retención y por ende el volumen líquido.

#### **4.7.4 Características de la sede de la junta**

La Sede de la Junta es una construcción de estructura metálica con cubierta de galvalume, cubre una superficie de 540.19m<sup>2</sup> distribuidos en varios ambientes, en la parte frontal se encuentra el área administrativa y en la parte posterior el salón de eventos y reuniones.

**Tabla 6** Áreas de construcción de la sede

<b>AMBIENTE</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Área Administrativa	54.79
Bodega	21.52
Baterías sanitarias	16.91
Escenario	19.55
Graderíos	42.75
Acceso	10.89
Salón de eventos	400.81
Área de construcción	540.19

La sede de la Junta requiere de energía eléctrica para cubrir el requerimiento energético en los diferentes ambientes; cabe destacar que las instalaciones están bien iluminadas; el área administrativa atenderá a los usuarios en un horario de 6 horas diarias; el salón de eventos se usará para las Asambleas Generales de Socios, las ordinarias se realizan dos al año y las extraordinarias cuando los usuarios las requieran. Por lo indicado la demanda de energía no es alta, y puede ser satisfecha con el biodigestor propuesto, objeto del presente estudio.

En las figuras 28, 29 y 30 se muestran algunos ambientes de la Sede



**Figura 28** Vista frontal de la sede

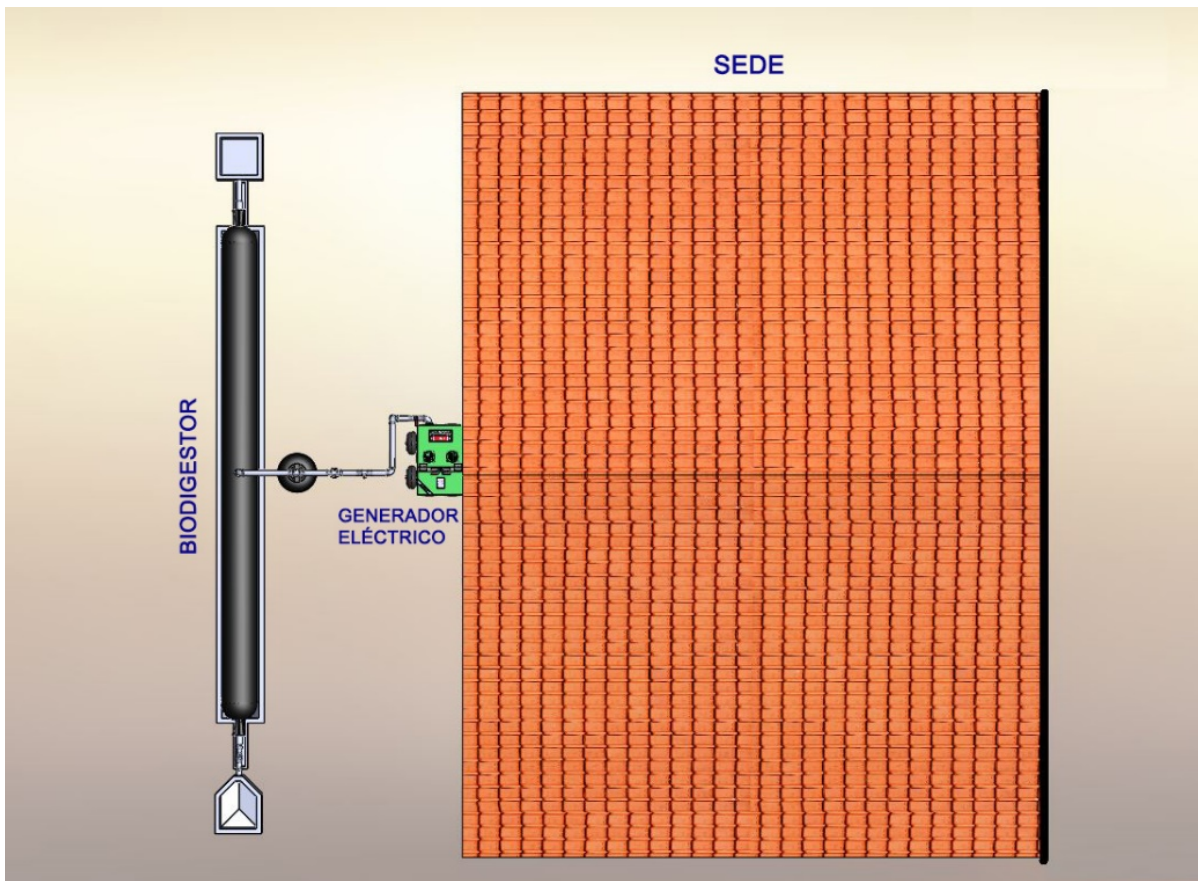


**Figura 29** *Vista del salón de eventos*



**Figura 30** *Vista del área administrativa*

El biodigestor con sus componentes se construirá en la parte posterior de la Sede, en donde existe el espacio necesario para su construcción.



**Figura 31** *Ubicación del biodigestor*

## 5. Metodología

### 5.1 Materiales

Los materiales usados durante la ejecución del presente proyecto son los siguientes:

- ✓ Software de ingeniería:
  - SolidWorks
  - Archicad
  - AutoCAD
  - Excel
- ✓ Material Bibliográfico
  - Tablas técnicas
  - Catálogos de proveedores
  - Libros técnicos
  - Páginas webs de fabricantes
  - Manuales de diseño de biodigestores
  - Artículos en referencia al biogás

### 5.2 Métodos

Para el correcto desarrollo del siguiente proyecto se indicará los pasos a desarrollar para cumplir con su objetivo:

#### ***5.2.1 Análisis de la zona dónde se implementará el proyecto.***

Para iniciar en el diseño y cálculos del biodigestor es necesario conocer las condiciones geográficas y climáticas que existen en la parroquia rural de Malacatos.

##### **5.2.1.1 Exploración de la geografía local.**

Los biodigestores son sistemas que se acoplan sin ningún problema a las condiciones del terreno y la temperatura del lugar por lo que es importante conocer las características geográficas y el clima de la parroquia Malacatos.

Para conocer dicha información se procedió a realizar una investigación referente a las condiciones climatológicas del lugar usando los documentos proporcionados por los estudios realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Malacatos.

### 5.2.1.2 Búsqueda de planos que se implementaron en la sede.

Para realizar el diseño eléctrico se solicitó a la Junta los planos utilizados en la construcción de la Sede, documentos requeridos para adaptar el biodigestor y el generador eléctrico en la construcción, y de acuerdo a las condiciones del terreno.

### 5.2.1.3 Investigación de la fauna y flora.

El biodigestor va trabajar usando residuos orgánicos, por lo que se realizará una investigación de campo sobre los diferentes animales y plantas que existen en el barrio El Pedregal.

En la tabla 7 se detallan los animales y cultivos que existen en el sector.

**Tabla 7** *Animales y cultivos del barrio el Pedregal*

<b>ANIMALES</b>	<b>CULTIVOS</b>
Vacas	Maíz
Cerdos	Caña de azúcar
Gallinas	Café
Burros	Yuca
Caballos	Guineo
Cuyes	Frejol

### 5.2.1.4 Analizar el clima de la parroquia Malacatos.

Los biodigestores trabajan mejor en sectores de temperatura alta; por ello, se requiere conocer las condiciones climáticas de la parroquia Malacatos, y analizar si presenta los parámetros necesarios para que el sistema trabaje de manera constante.

## 5.2.2 Investigar sobre la estructura y funcionamiento del sistema.

### 5.2.2.1 Investigar en textos, publicaciones y web sobre avances referentes al biogás.

La energía eléctrica renovable no es un tema nuevo, pero en la actualidad han tomado una mayor relevancia debido a los problemas ecológicos que existen en el planeta, Para encontrar el diseño que mejor se acople a las condiciones del lugar, se han investigado diferentes métodos para obtener biogás a partir de los desechos orgánicos.

Se realizó una comparación entre los biodigestores tipo indio, chino y tubular para seleccionar la mejor opción en función del costo y beneficio.

### **5.2.2.2 Indagar sobre los componentes y herramientas necesarios para la construcción de un biodigestor.**

Para este proyecto, se usará el diseño de un biodigestor de tipo tubular, por lo que será necesario realizar una investigación exhaustiva sobre este tipo de biodigestores para ser instalado de manera correcta en la sede de la JAAP-S.

### **5.2.2.3 Seleccionar el lugar donde se podrá aprovechar de mejor manera la instalación del sistema de biogás para la sede.**

Generalmente se necesita un espacio amplio con luz solar para instalar el biodigestor tubular, hay que considerar que al ser un sistema que se encuentra en la superficie, debe poseer cierta protección para evitar daños externos.

Para solucionar este inconveniente se debe analizar los planos de construcción y del terreno, con el fin de determinar los posibles lugares que cumplan las condiciones requeridas para su instalación.

### **5.2.2.4 Determinar los parámetros de diseño.**

Mediante el uso de la ciencia y la técnica disponibles para el diseño de los biodigestores, se determinarán todos los parámetros que intervienen en el diseño de este tipo de sistemas para la producción de biogás.

## ***5.2.3 Diseño del biodigestor tubular***

### **5.2.3.1 Requerimiento eléctrico**

La sede de la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo, está distribuida en dos áreas, la una corresponde al Área Administrativa de la Junta y la otra es el área de reuniones y eventos sociales; el biodigestor a diseñar generará el biogás necesario para el funcionamiento de un generador eléctrico, el cual abastecerá de energía eléctrica a las instalaciones de la JAAP-S.

En la tabla 8 se detalla el requerimiento energético del área a servir:

**Tabla 8** *Requerimiento energético para JAAP-S*

Aparato Eléctrico	Cantidad	Potencia (W)		Consumo Promedio Diario		Consumo de Energía (kW-h)		
		Unitaria	Total	(min)	(h)	Diario	Mes	
Luminarias tipo 1	22	8	176	60	1.00	0.176	5.280	
Luminarias tipo 2	5	100	500	180	3.00	1.500	45.000	
Teléfono 1	1	8	8	15	0.25	0.002	0.060	
Equipo de Sonido	1	80	80	60	1.00	0.080	2.400	
Impresora	1	20	20	30	0.50	0.010	0.300	
Monitor	2	30	60	480	8.00	0.480	14.400	
CPU	2	120	240	360	6.00	1.440	43.200	
Cargadores de Celular	3	1.5	4.5	120	2.00	0.009	0.270	
		<b>POTENCIA</b>	<b>1088.5</b>			<b>TOTAL</b>	<b>3.700</b>	<b>110.910</b>

El requerimiento de energía eléctrica de la Sede de la Junta es de 3.70 kW-h por día.

La carga instalada en la Sede es de 4.71 kW; para calcular la demanda de diseño, se tomó en cuenta un factor de coincidencia de 0.80, y un factor de potencia de 0.92; con lo cual se obtuvo una demanda de diseño proyecta de 1.93 kVA; los detalles de los cálculos realizados constan en el Anexo 12.

### 5.2.3.2 Selección del generador eléctrico

En el internet se encontró un generador eléctrico que funciona con gas natural, gas licuado de petróleo (GLP) y gasolina; el generador es de la marca GRETECH, modelo JL654173, genera 5.2 kW de energía eléctrica y requiere 0.35 m<sup>3</sup> de gas natural para general 1 kW-h.

En la figura 32, tabla 9 y tabla 10 siguientes se detallan los datos técnicos del generador eléctrico indicado:



**Figura 32** *Generador eléctrico seleccionado*  
 Nota: Adaptada de (GRETECH, 2016)

**Tabla 9** *Descripción general del generador eléctrico*

<b>Descripción General</b>			
<b>Lugar de origen</b>	Shanghai, China	<b>Garantía</b>	1 año
<b>Marca</b>	GRETECH	<b>Modelo</b>	JL654173
<b>Voltaje nominal</b>	110 V- 240 V / 380 V- 400 V	<b>Corriente nominal</b>	DC 8.3 A, AC 32 A
<b>Frecuencia</b>	50 Hz, 60 Hz	<b>Energía tasada</b>	4.7 kW, 5.2 kW con gas natural
<b>Tipo de motor</b>	JL440G, 15 HP	<b>Combustible</b>	Gas natural, gas licuado de petróleo o gasolina
<b>Capacidad del tanque</b>	25 Litros	<b>Certificación</b>	CE, ISO

Nota: Adaptada de (GRETECH, 2016)



**Tabla 10** *Parámetros técnicos del generador eléctrico*

<b>Product Parameters</b>		
<b>Frequency</b>	50 Hz	60 Hz
<b>Rated Power (LPG/Gasoline)</b>	5500 W	6000 W
<b>Rated Power (NG)</b>	4700 W	5200 W
<b>Max. Power (LPG/Gasoline)</b>	6000 W	6500 W
<b>Max. Power (NG)</b>	5000 W	5500 W
<b>Rated Voltage</b>	110 V - 240 V/380 V- 400 V	
<b>DC Output</b>	12 V/8.3 A	
<b>Phase</b>	Single-phase	
<b>Starting System</b>	Electric-Start	
<b>Fuel Tank Capacity</b>	25 l	
<b>Fuel Consumption</b>	LPG: 0.36 kg/kW-h, NG: 0.35 m <sup>3</sup> /kW-h	
<b>Recommended input Pressure of NG/LPG</b>	2.0 - 6.0 KPa (0.29 -0.87 PSI)	
<b>Engine</b>	JL440G/439cc/15HP/4-Stroke/OHV	
<b>Ignition System</b>	T.C.I.	
<b>Alternator</b>	Brush Alternator, Synchronous, Two-Pole, 100% Copper enameled wire	
<b>AVR</b>	In-Built AVR	
<b>Power Factor</b>	cosØ=1	
<b>Protection</b>	Low oil alert system, circuit breaker	
<b>Oil type/Oil capacity</b>	10 W-40 or same level/1.1 L	
<b>Noise Level dB(7m)</b>	66dB(A)	
<b>Dry weight</b>	101 kg	
<b>Dimension</b>	770x550x575 mm	

*Nota:* Adaptada de (GRETECH, 2016)

### 5.2.3.3 Biogás necesario para obtener la energía requerida

El volumen de biogás que requiere el Generador Eléctrico para entregar la energía requerida por la JAAP-S, se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{bgr} = E_r * C_{bg} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$V_{bgr}$  = Volumen de biogás requerido por día (m<sup>3</sup>/día)

$E_r$  = Energía requerida por día (kW-h)

$C_{bg}$  = Consumo de biogás del generador para entregar 1 kW-h (m<sup>3</sup>)

#### 5.2.3.4 Volumen de biogás producido

El volumen de biogás producido por el biodigestor depende de varios factores entre los que podemos destacar:

- ✓ Materia orgánica disponible.
- ✓ Carga diaria
- ✓ Tiempo de retención (TR) y temperatura.
- ✓ Producción de biogás.

##### 5.2.3.4.1 Materia orgánica disponible

Para la producción de biogás se utiliza como materia orgánica el estiércol o residuos orgánicos de diferente índole. El estiércol que más se utiliza es el de ganado bovino, porcino, caprino, equino, etc.

En el barrio El Pedregal existe un buen número de ganado bovino; por ello, se considera la materia orgánica producida por este tipo de ganado para el diseño del biodigestor. En la tabla 11 se presenta la cantidad de materia orgánica disponible.

**Tabla 11** *Materia orgánica disponible*

ANIMAL	CANTIDAD	PESO (kg)	PESO VIVO (kg)	ESTIERCOL (kg)		RECOLECCIÓN (kg)	
				X C/100 kg	DIARIO	%	DIARIO
Vacas	7	300	2100	8	168	25	42
				<b>TOTAL</b>	<b>168</b>		<b>42</b>

##### 5.2.3.4.2 Carga diaria al biodigestor

Al biodigestor se lo carga diariamente con una mezcla de estiércol y agua, la dosificación o relación de estos componentes depende del animal de donde proviene la materia orgánica; en el caso del ganado bovino la relación es 1:3; es decir, la mezcla se hace con una parte de estiércol y tres partes de agua, tal como se aprecia en la tabla 12:

**Tabla 12** *Relación estiércol: agua*

GANADO	RELACIÓN ESTIERCOL: AGUA
Vaca	1:3
Cerdo	1:4
Llama/oveja/cuy	1:8-9

*Nota:* Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

Varios estudios han determinado que la densidad aparente de la mezcla diluida es de 958.89 kg/m<sup>3</sup>. La carga diaria se calcula de la siguiente manera:

$$Cd = \frac{Md}{\delta m} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Cd = Carga diaria (m<sup>3</sup>/día)

Md = Mezcla diluida (kg/día)

δm = Densidad aparente de la mezcla = 958.89 kg/m<sup>3</sup>

La mezcla diluida se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Md = Mod + Vagua \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Mod = Materia orgánica disponible (kg/día)

Vagua = Volumen de agua para agregar a la mezcla (l/día = kg/día)

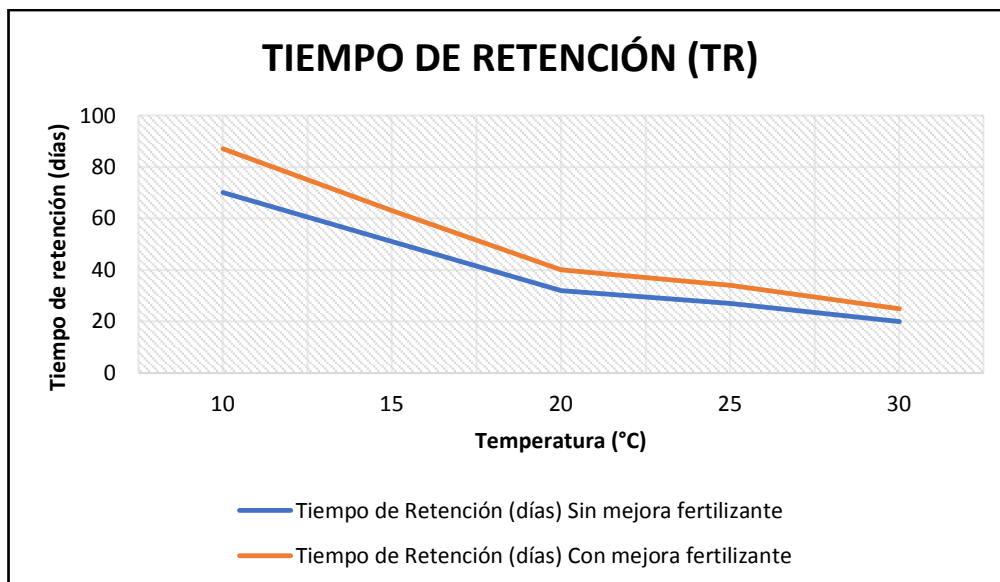
Para el caso de ganado bovino, el volumen de agua es igual a 3 veces la materia orgánica disponible, por lo tanto, la mezcla diluida es igual a:

$$Md = Mod + 3 * Mod \quad \text{Ecuación 7}$$

$$Md = 4 * Mod \quad \text{Ecuación 8}$$

#### **5.2.3.4.3 Tiempo de retención (TR) y temperatura**

Estudios importantes recomiendan que la temperatura debe estar entre 10 °C y 30 °C para que los biodigestores trabajen adecuadamente; de la temperatura depende el tiempo que la materia orgánica permanecerá en el biodigestor; en la figura 33 se determina el tiempo de retención en función de la temperatura.



**Figura 33** *Tiempo de retención*  
 Nota: Adaptada de (CIDAR, 2016)

#### 5.2.3.4.4 Producción de biogás

La producción de biogás se determina en función de los sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) que existen en la materia orgánica disponible.

Los sólidos totales se calculan como un porcentaje de la materia orgánica disponible, tomando en cuenta los valores que constan en la tabla 13:

**Tabla 13** *Porcentaje de sólidos totales (ST)*

MATERIAL	SÓLIDOS TOTALES (%)
Estiércol fresco	17.00
Mezcla 1:4	3.40
Mezcla 1:3	4.25

Nota: Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

El cálculo se realiza con la fórmula:

$$ST = \%ST * Mod \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

ST = Sólidos totales presentes en la materia orgánica disponible (kg/día).

%ST = Porcentaje determinado de acuerdo a la Tabla 13.

Los sólidos volátiles son un porcentaje de los sólidos totales, generalmente éstos representan el 77 % de los sólidos totales correspondientes a la materia orgánica disponible, la cual se carga diariamente en el biodigestor.

Los sólidos volátiles se obtienen con la fórmula:

$$SV = 0.77 * ST \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

SV = Sólidos volátiles presentes en la materia orgánica disponible (kg/día).

La producción de biogás depende de la cantidad de sólidos volátiles que exista en la materia orgánica disponible, se calcula aplicando un factor de producción de acuerdo a la tabla 14:

**Tabla 14** Factor de producción de biogás (m<sup>3</sup>/kg)

GANADO	FACTOR DE PRODUCCIÓN	FACTOR GENERAL
Porcino	0.25 - 0.50	0.39
Bovino	0.25 - 0.30	0.27

*Nota:* Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

En el biodigestor para la JAAP-S se utilizará estiércol de ganado bovino, la producción de biogás se calcula con la fórmula:

$$Vbgp = 0.27 * SV \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Vbgp = Volumen de biogás producido en un día (m<sup>3</sup>/día).

### 5.2.3.5 Dimensiones del biodigestor

#### 5.2.3.5.1 Volúmenes del biodigestor

El volumen líquido del biodigestor se calcula con la fórmula siguiente:

$$VL = Cd * TR \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

VL = Volumen líquido del biodigestor (m<sup>3</sup>).

Cd = Carga diaria con la mezcla diluida (m<sup>3</sup>/día).

TR = Tiempo de retención determinado en la figura 33 (días).

El volumen gaseoso representa la tercera parte del volumen líquido, así:

$$VG = \frac{VL}{3} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

VG = Volumen gaseoso (m<sup>3</sup>).

El volumen total (VT) del biodigestor se obtiene de la suma del volumen líquido más el volumen gaseoso.

$$VT = VL + VG \quad \text{Ecuación 14}$$

### 5.2.3.5.2 Material del Biodigestor

El material seleccionado para la construcción del biodigestor es una geomembrana compuesta de polietileno de baja densidad, color negro humo y antioxidante. Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la geomembrana se detallan en la tabla 15:

**Tabla 15** Propiedades de la geomembrana LLDPE LISA GM13

PROPIEDADES	METODOS DE ENSAYO	REFERENCIA (VALORES MÍNIMOS/RANGO ADMISIBLE)	
		GLLDPE050LGM13	GLLDPE075LGM13
ESPESOR PROMEDIO (mm)	ASTM D5199	0.50	0.75
ESPESOR MÍNIMO DE IO LECTURAS	ASTM D5199	0.45	0.68
DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D792	≥ 0.94	≥ 0.94
RESISTENCIA A LA ROTURA (kN/m)	ASTM D6693 TIPO IV	17	25
ELONGACIÓN A LA ROTURA (%)	ASTM D6693 TIPO IV	730	748
ELONGACIÓN EN EL PUNTO DE FLUENCIA (%)	ASTM D6693 TIPO IV	13	13
RESISTENCIA AL RASGADO (N)	ASTM D1004	69	99
RESISTENCIA AL PUNZONADO (N)	ASTM D4833	210	330
RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO (h)	ASTM D5397	> 550	> 550
CONTENIDO DE NEGRO DE HUMO (%)	ASTM D4218	2-3	2-3
TIEMPO DE OXIDACIÓN INDUCIDA OIT ALTA PRESIÓN (min)	ASTM D5885	> 700	> 700
TIEMPO DE OXIDACIÓN INDUCIDA OIT ESTANDAR (min)	ASTM D3895	> 120	> 120
RESISTENCIA AL UV (%MÍNIMO RETENIDO DE OIT ALTA PRESIÓN DESPUÉS DE 1600 HORAS)	ASTM D7238 ASTM G154 ASTM D5885V	> 80	> 80
LARGO ROLLO (m) PRESENTACIÓN A	N/A	400	270
PRESENTACIÓN B	N/A	450	300
ANCHO (m)	N/A	7	7
ÁREA (m <sup>2</sup> ) PRESENTACIÓN A	N/A	2800	1890

Nota: Adaptada de (PQA, 2015)

La geomembrana es un material que se une por termosellado, es decir las uniones se realizan usando calor y presión; razón por la cual, se pueden construir biodigestores de cualquier dimensión. En el presente estudio se diseñó un biodigestor con una circunferencia de 4.00m, el resto de parámetros se calculan con las fórmulas siguientes:

$$r = \frac{C}{2 * \pi} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$D = 2 * r \quad \text{Ecuación 16}$$

$$S = \pi * r^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

$$L = \frac{VT}{S} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

C = Circunferencia de la sección transversal del biodigestor (m).

r = Radio (m).

D = Diámetro (m)

S = Sección eficaz (m<sup>2</sup>)

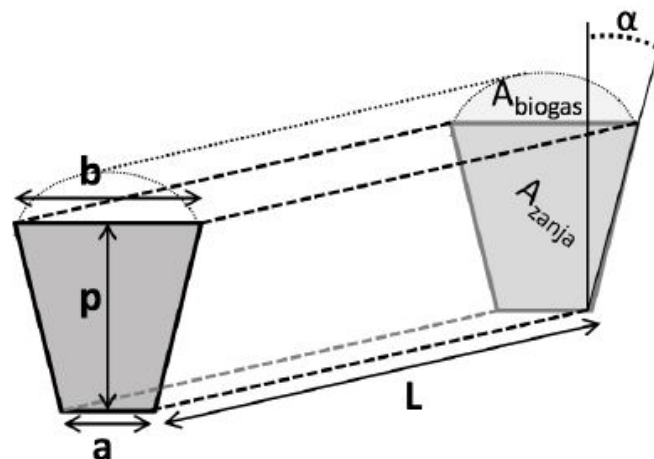
$\pi$  = Pi = 3.14159

L = Longitud del biodigestor (m)

La longitud recomendable de un biodigestor debe estar entre 5 y 10 veces su diámetro, siendo la longitud óptima igual a 7.5\*D.

### 5.2.3.6 Dimensiones de la zanja

La sección transversal de la zanja que mejor se acopla a la sección cilíndrica del biodigestor es la trapezoidal, además esta sección es la que mejor resiste los esfuerzos laterales del suelo; en la figura 34 se detallan los elementos de la zanja.



**Figura 34** Dimensiones de la zanja  
Nota: Adaptada de (Martí Herrero, 2019)

En la zanja se debe acoplar el volumen líquido del biodigestor, por lo tanto, el área transversal de ésta se calcula así:

$$Az = \frac{VL}{L} \quad \text{Ecuación 19}$$

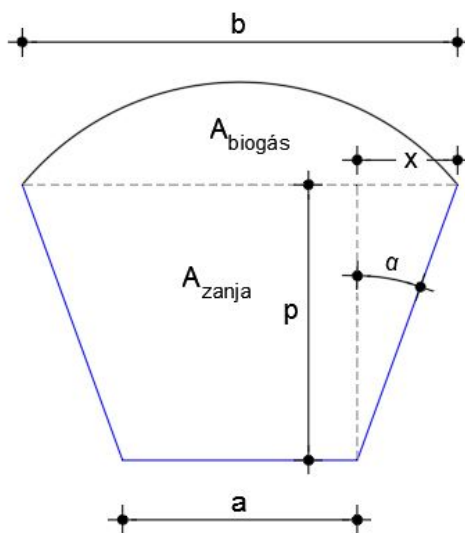
Donde:

$Az$  = Área transversal de la zanja ( $m^2$ ).

$VL$  = Volumen líquido del biodigestor ( $m^3$ ).

$L$  = Longitud del biodigestor (m).

Existen varios métodos para determinar las dimensiones de la zanja, algunos de los cuales son confusos, como un aporte personal se propone calcular las dimensiones mediante procesos iterativos tomando como base la figura 35 y ecuaciones siguientes:



**Figura 35** Área transversal de la zanja

De la figura 35 se deduce las ecuaciones siguientes:

$$Az = \frac{a + b}{2} * p \quad \text{Ecuación 20}$$

$$b = a + 2 * x \quad \text{Ecuación 21}$$

$$x = p * \tan(\alpha) \quad \text{Ecuación 22}$$

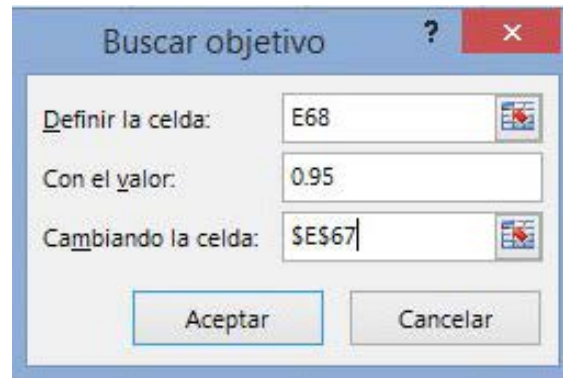
Reemplazando las correspondencias de (b) y (x) se tiene:

$$Az = [a + p * \tan(\alpha)] * p \quad \text{Ecuación 23}$$

Para resolver la ecuación 23 se tienen  $Az$  que es conocida, dependiendo del tipo de suelo se establece el ángulo ( $\alpha$ ), se asume el ancho menor (a) del trapecio y, mediante procesos iterativos, se asigna valores a la altura (p) hasta cumplir con la igualdad.



Programas informáticos como el Microsoft Excel permiten automatizar el proceso anterior; para el efecto se usa la función [Buscar objetivo...], la cual se encuentra en la ruta [DATOS – Herramientas de datos – Análisis de hipótesis]; en la figura 36 se muestra la función indicada:



**Figura 36** Función [Buscar objetivo...]

Donde:

Definir la celda = Celda donde se encuentra la fórmula para calcular Az de acuerdo a la ecuación 23.

Con el valor = Valor de Az obtenido con la ecuación 19.

Cambiando la celda = Celda donde se colocará el valor de la altura (p) hasta obtener la igualdad de la ecuación 23.

Con las ecuaciones y cálculos que anteceden se determinan las dimensiones del biodigestor tubular, y la zanja donde se lo colocará

#### **5.2.4 Herramientas usadas en el diseño del biodigestor**

Los planos de diseño se elaborarán con la ayuda de software técnico como el AutoCAD y el SolidWorks; adicionalmente, para automatizar el cálculo de un biodigestor, se utilizará una hoja electrónica como es el Microsoft Excel, la misma que también nos servirá para hacer cuadros y tablas; las imágenes se editaran con el Adobe PhotoShop y el Paint. Para la redacción de toda la información involucrada en el presente estudio, se utilizará el procesador de textos Microsoft Word.

Para el diseño y con el fin de normalizar las diferentes piezas que forman parte del sistema, se realizará una investigación de mercado.

## 5.2.5 Instalaciones eléctricas de la sede

### 5.2.5.1 Demanda eléctrica

En el cálculo de la demanda eléctrica se consideraron los factores de simultaneidad y coincidencia, sus valores dependerán del uso que se va a dar a la construcción como se puede apreciar en la tabla 16:

**Tabla 16** Factores de simultaneidad y coincidencia

Diversificación \ Usos	Residencial	Comercial	Industrial
Iluminación	0.70	1.00	1.00
Toma corriente	0.35	0.70	0.70
Cocina eléctrica (inducción)	0.80	1.00	1.00
Cargas especiales	1.00	1.00	1.00
Coincidencia	0.70	0.80	1.00
Factor de Potencia	0.92	0.92	0.92

*Nota:* Adaptada de (CENTROSUR, 2016)

### 5.2.5.2 Características constructivas de las instalaciones eléctricas

Debido al tamaño de la Sede, para las instalaciones eléctricas se colocaron varios tableros de distribución secundarios tipo Square-D normalizados, desde los cuales se distribuirán los circuitos de iluminación, tomacorrientes y cargas especiales para cada ambiente.

#### 5.2.5.2.1 Conexión a los tableros de distribución

La Sede consta de un tablero de distribución principal y 3 tableros secundarios, utilizando un circuito bifásico a 240 V, con una configuración de 2 fases y 3 conductores (2F3C) y conductor de cobre (Cu) con aislamiento termoplástico resistente al calor con una cubierta de nylon (THHN) para 600 V, el calibre es de 10 AWG para fase, neutro y 12 AWG para conexión a tierra.

#### 5.2.5.2.2 Circuitos de iluminación

Existen 2 tipos de iluminación que serán utilizadas en la Sede, en las oficinas, bodega y baños usaran iluminarias tipo LED de 8 W y para el salón de reuniones y eventos se usaran lámparas tipo LED de 100 W.

Los conductores son de cobre (Cu) y la protección son de aislamiento termoplástico resistente al calor con una cubierta de nylon (THHN) para 600 V con un calibre de 14 AWG, con una configuración de 1F2C.

Los interruptores y conmutadores se encuentran instalados a una altura de 1.25 m y su distribución se adjunta en los planos eléctricos proporcionados por la Junta.

#### **5.2.5.2.3 Tomacorrientes y cargas especiales**

Los tomacorrientes están instalados a una altura de 0.40m sobre el nivel del suelo, poseen conexión a tierra para evitar daños en los componentes electrónicos del lugar

La configuración de los tomacorrientes es de 1 fase y 3 conductores (1F3C) y para las cargas especiales 2 fases y 3 conductores (2F3C), los conductores son de cobre (Cu) y la protección son de aislamiento termoplástico resistente al calor con una cubierta de nylon (THHN) para 600 V con un calibre de 12 AWG y 10 AWG para las cargas especiales.

#### **5.2.5.2.4 Protección física de los circuitos internos.**

Para la protección de todas las conexiones en el salón de eventos se utilizaron mangueras de polietileno debido a sus virtudes tales como su resistencia a la abrasión y corrosión, su flexibilidad y su alta resistencia a impactos.

En la Sede se instalaron mangueras de diferentes diámetros:

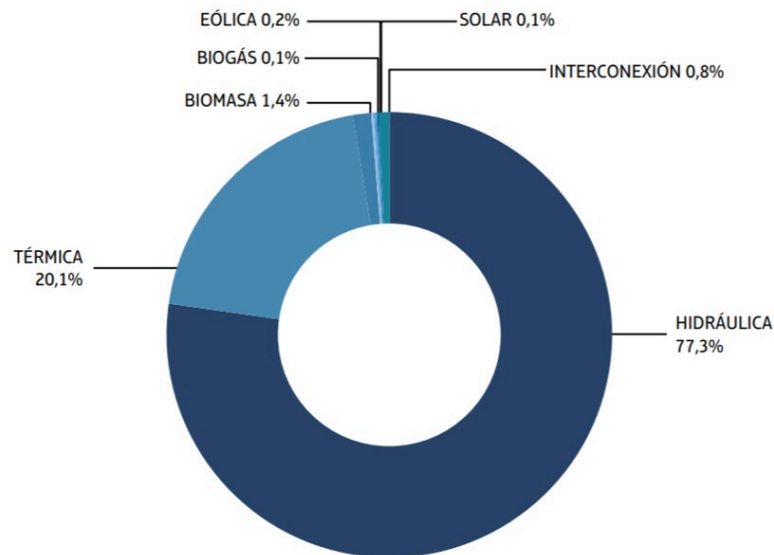
- ✓ 1 pulgada para la conexión del medidor al tablero principal (TP)
- ✓ ¾ pulgada del tablero principal a los tableros secundarios (TD1, TD2, TD3).
- ✓ ½ pulgada de los tableros secundarios a las iluminarias y circuitos de fuerza.

#### **5.2.6 Análisis técnico económico del proyecto.**

Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta en el proyecto es el costo de toda la obra, esta información permitirá a los miembros de la JAAP-S conocer la rentabilidad y la factibilidad del proyecto.

En el Ecuador la principal fuente de energía son las Hidroeléctricas, 77.3 % de la energía generada en el país, según los datos apreciados en la figura 37, los cuales se obtuvieron del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables; mientras que el resto de energías como la biomasa ocupan el 1.4 % y el biogás un 0.1 %. Esto demuestra que este tipo de recursos están desaprovechados por los seres humanos, al no ver el potencial energético de los residuos y solo catalogarlos como basura; recursos que pueden ser bien aprovechados en los sectores rurales alejados de los centros poblados.

Uno de los inconvenientes que se presenta en la rentabilidad del proyecto, es el bajo costo de la electricidad del país; el Ecuador ocupa el sexto puesto en América Latina en el ranking de las tarifas eléctricas más bajas para el sector residencial, otro aspecto a tomar en cuenta es la necesidad de importar los equipos como el generador eléctrico, ya que este tipo de máquinas no son fabricadas en el país, añadiendo valores extras lo que eleva el costo final.



**Figura 37 Fuentes de energía del Ecuador**  
 Nota: Adaptada de (MERNNR, 2020)

Según algunos trabajos previos alrededor del mundo, existen varios criterios sobre el tiempo que se necesita para lograr la rentabilidad en energía eléctrica generada con biogás; esto sucede debido a que son sistemas muy dependientes de las condiciones meteorológicas en la zona donde son instalados. La rentabilidad se estima una media de 6 años en condiciones óptimas y 9 años en condiciones no muy favorables, pero manteniéndose viable de manera económica.

#### 5.2.6.1 Costos de la inversión inicial

Para conocer el capital necesario para dar inicio al proyecto, se requiere determinar una inversión inicial, en la cual incluya los precios de los diferentes componentes que forman parte del sistema de generación de energía eléctrica a partir del biogás.

El costo de implementación del biodigestor tubular en la Sede de la Junta se calculará por rubros; el desglose de cada rubro se conoce como análisis de precios unitarios, en los cuales se incluyen los componentes de materiales, equipo, mano de obra y transporte.

Todo rubro tiene costos directos y costos indirectos; en los costos directos se incluyen los valores correspondientes a los componentes de los análisis de precios unitarios; en los costos indirectos se consideran los valores de gastos administrativos, operacionales e imprevistos.

El cálculo del presupuesto por análisis de precios, permitirá a los Directivos de la Junta contratar la ejecución de las obras o construirlas por administración directa.

Adicionalmente, en la inversión inicial, debe considerarse el costo de adquisición e importación del generador eléctrico

Los valores determinados constan en el capítulo de resultados, en donde se hace un amplio análisis sobre la factibilidad de la ejecución del proyecto.

### 5.2.6.2 Determinación del ahorro e ingresos anuales

#### 5.2.6.2.1 Ahorro anual

Para hacer una proyección del ahorro económico que se producirá al instalar el sistema en la Sede se usará la estimación del consumo eléctrico en la junta durante un mes, utilizando los datos de la tabla 8 y multiplicándolo por 12 meses para obtener el consumo anual.

$$CA = CM * 12 \text{ meses} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

CA= Consumo Anual (kW-h/año)

CM=Consumo Mensual (kW-h)

Para obtener el ahorro económico en valores monetarios (dólares) utilizamos el valor medio de la energía eléctrica en el Ecuador como se aprecia en la tabla 17.

**Tabla 17** Análisis de costos medios de venta por nivel de tensión

	DISTRIBUIDORA / UNIDAD DE NEGOCIO	BAJO VOLTAJE			COSTO DEL SERVICIO PUBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
		SUBTOTAL	VENTAS	COSTO MEDIO	TOTAL	VENTAS	COSTO MEDIO
		USD	kW-h	USD/kW-h	USD	kW-h	USD/kW-h
EMPRESAS ELÉCTRICAS-EE	AMBATO	55.935858	406.507.225	0,1376	71.889.203	587.537.256	0,1224
	AZOGUES	5.844.081	45.218.426	0,1292	7.595.326	53.167.610	0,1429
	CENTRO SUR	78.911.885	556.249.937	0,1394	114.024.058	971.071.588	0,1174
	COTOPAXI	26.393.522	183.5886.861	0,1438	42.921.888	443.552.853	0,0968
	NORTE	41.537.293	404.188.174	0,1028	57.498.022	528.357.743	0,1088
	QUITO	242.617.048	2.853.734.863	0,0850	311.555.788	3.589.235.376	0,0868
	RIOBAMBA	29.688.116	230.920.312	0,1286	35.580.618	263.566.800	0,1350
	<b>SUR</b>	<b>37.739.545</b>	<b>301.525.990</b>	<b>0,1252</b>	<b>56.988.111</b>	<b>617.662.329</b>	<b>0,0923</b>
	GALAPAGOS	4.591.902	36.248.880	0,1267	7.681.590	52.043.988	0,1476

Nota: Adaptada de (ARC, 2022)

Utilizando la ecuación 25 obtenemos el ahorro anual.

$$Ahorro\ anual = CA * Tarifa \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

Ahorro anual = Valor ahorrado en un año (US\$)

Tarifa = Valor por el consumo eléctrico (US\$/kW-h)

#### **5.2.6.2.2 Ingreso anual por producción de biol**

El biodigestor además del biogás producirá biol, la producción de biol depende del período de carga y de la mezcla diluida (Estiércol + agua) que ingresa al biodigestor, a esta mezcla se deben restar los sólidos totales presentes en la materia orgánica utilizada. Con la siguiente ecuación se determina el volumen de biol producido:

$$V_{biol} = \frac{(Md - ST)}{\delta m} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

$V_{biol}$  = Volumen de biol producido (m<sup>3</sup>/día).

La producción de biol empieza después de transcurrido el tiempo de retención; el volumen producido o de descarga es igual al volumen de carga menos los sólidos totales presentes en la mezcla diluida.

En nuestro medio, lamentablemente no se ha creado conciencia sobre los beneficios del uso del biol; menos del 4.00 % de las áreas agropecuarias utilizan al biol como abono orgánico. Por lo indicado, se consideró una venta del 2.00 % del biol producido que equivale a 100 litros del biol a obtenerse después del tiempo de retención; éste se vendería a los usuarios de la Junta, que en su mayoría se dedican a la agricultura; en el mercado costo del litro de biol es de US\$ 0.50. Anualmente se conseguiría un ingreso de:  $100 * 0.50 * 12 = \text{US\$ } 600.00$ .

El ahorro e ingreso anual que tendría la junta se determina con la ecuación 27.

$$Ingresos = Ahorro\ anual + Venta\ de\ biol \quad \text{Ecuación 27}$$

#### **5.2.6.3 Tiempo de amortización del proyecto**

El tiempo de amortización del proyecto se obtiene con la ecuación 28, dividiendo el costo total del proyecto para los ingresos.

$$TA = \frac{\text{Costo total del proyecto}}{\text{Ingresos}} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

TA = Tiempo de amortización (Años)

Con el resultado se determinará el tiempo que se necesita para recuperar el dinero invertido en la ejecución del proyecto.

### ***5.2.7 Planos de diseños***

Los diseños se dibujaron y esquematizaron mediante el uso de software técnico como el SolidWork y el AutoCAD; los planos que contienen los diseños constan desde el Anexo 3 hasta el Anexo 10.

## 6. Resultados

### 6.1 Dimensiones del biodigestor tubular

Para calcular las dimensiones del biodigestor elaboramos una hoja electrónica de Excel, el detalle de la información ingresada y los cálculos realizados consta en el Anexo 1.

A continuación, se describe el procedimiento llevado a cabo para el dimensionamiento del biodigestor.

#### 6.1.1 Requerimiento eléctrico

En la tabla 8 se detalla el requerimiento de energía eléctrica que tiene la Sede de la JAAP-S, el valor requerido es de 3.70 kW-h por día.

#### 6.1.2 Generador eléctrico seleccionado

En función de las características técnicas del generador eléctrico, y de las necesidades de energía eléctrica que tiene la Sede, se seleccionó un generador marca GRETECH, modelo JL654173, éste requiere de 0.35 m<sup>3</sup> de biogás para producir 1 kW-h.

El volumen de biogás por día que se necesita para generar la energía eléctrica requerida (V<sub>bgr</sub>) se calculó con la ecuación 4, así:

$$\begin{aligned} V_{bgr} &= E_r * C_{bg} \\ V_{bgr} &= 3.7 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{día}} * 0.35 \frac{\text{m}^3}{\text{kW} \cdot \text{h}} \\ V_{bgr} &= 1.30 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \end{aligned}$$

#### 6.1.3 Volumen de biogás producido por el biodigestor

El volumen de biogás producido por el biodigestor está en función de la materia orgánica disponible (Mod), en la tabla 10 consta la cantidad de estiércol de vaca por día disponible para el biodigestor, la cual es de 42 kg/día.

Para determinar la carga diaria previamente se debe hacer la mezcla diluida, ésta se obtiene mezclando el estiércol con agua en una relación 1:3. Con la ecuación 8 se determina la mezcla diluida (Md).

$$\begin{aligned} M_d &= 4 * M_{od} \\ M_d &= 4 * 42 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \\ M_d &= 168.00 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \end{aligned}$$



La carga diaria (Cd) se calcula con la ecuación 5, tomando en cuenta que la densidad aparente de la mezcla diluida es de 958.89 kg/m<sup>3</sup>.

$$Cd = \frac{Md}{\delta m}$$

$$Cd = \frac{168.00 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{958.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Cd = 0.18 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Los sólidos totales (ST) presentes en la materia orgánica disponible se obtienen con la ecuación 9, y con el porcentaje de sólidos totales que constan en la tabla 12.

$$ST = \%ST * Mod$$

$$ST = \frac{17}{100} * 42 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$ST = 7.14 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Los sólidos volátiles (SV) representan el 77 % de los sólidos totales, se calculan con la ecuación 10.

$$SV = 0.77 * ST$$

$$SV = 0.77 * 7.14 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$SV = 5.50 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El volumen de biogás producido en un día (Vb<sub>gp</sub>) se calcula con la ecuación 11, este volumen depende del factor de producción de biogás que consta en la tabla 13.

$$Vb_{gp} = 0.27 * SV$$

$$Vb_{gp} = 0.27 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * 5.50 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$Vb_{gp} = 1.48 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

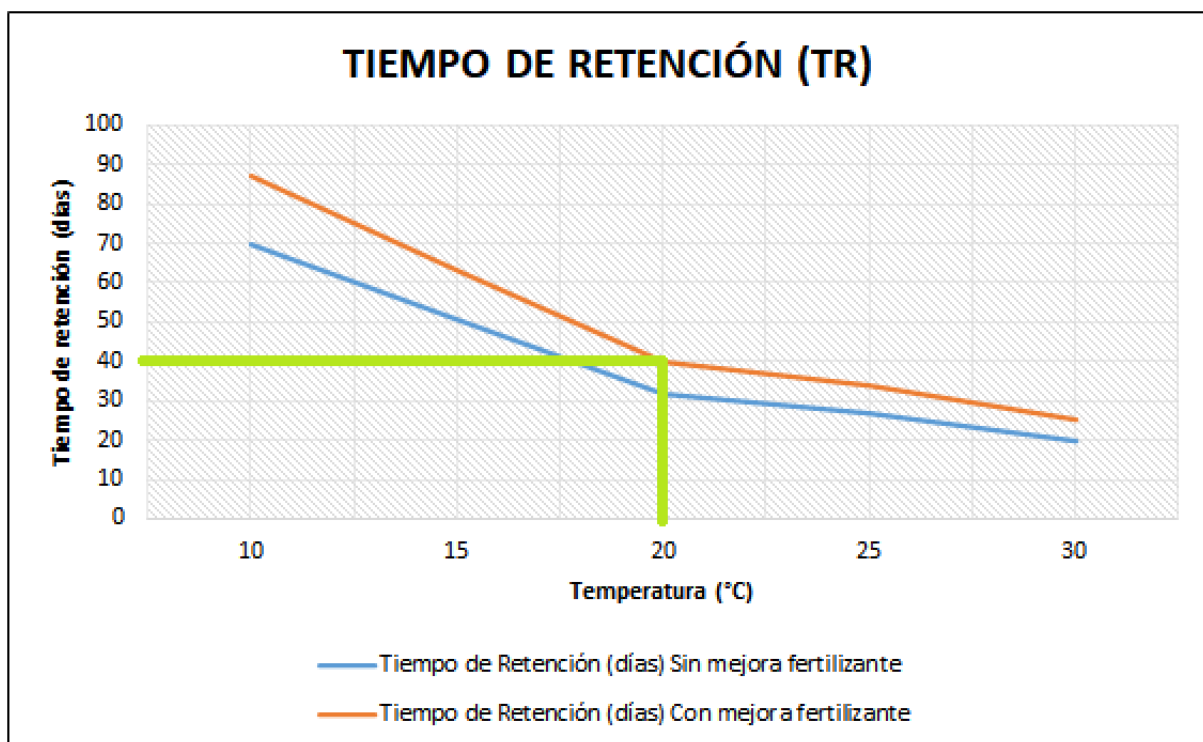
El volumen de biogás producido en un día es mayor al volumen requerido por el generador eléctrico.

$$\frac{V_{bgp}}{V_{bgr}} = \frac{1.48}{1.30} = 1.14 \text{ (Correcto)}$$

#### 6.1.4 Cálculo de las dimensiones del biodigestor

##### 6.1.4.1 Volúmenes del biodigestor

La temperatura promedio en la parroquia Malacatos es de 20 °C, con este valor determinamos en la figura 38 el tiempo de retención (TR) que es de 40 días.



**Figura 38** *Tiempo de retención del biodigestor*

El volumen líquido (VL) del biodigestor se determina con la ecuación 12.

$$VL = Cd * TR$$

$$VL = 0.18 \frac{m^3}{día} * 40 \text{ día}$$

$$VL = 7.20 m^3$$

El volumen gaseoso (VG) que se produce en el biodigestor representa la tercera parte del volumen líquido, se calcula con la ecuación 13.

$$VG = \frac{VL}{3}$$

$$VG = \frac{7.20 \text{ m}^3}{3}$$

$$VG = 2.40 \text{ m}^3$$

Con la ecuación 14 se obtiene el volumen total (VT) del biodigestor.

$$VT = VL + VG$$

$$VT = 7.20 \text{ m}^3 + 2.40 \text{ m}^3$$

$$VT = 9.60 \text{ m}^3$$

#### 6.1.4.2 Sección transversal del biodigestor

La geomembrana permite construir biodigestores de cualquier dimensión, en el presente proyecto se diseñó un biodigestor tubular con una circunferencia (C) de 4.0 m; el radio (r) y el diámetro (D) de la sección transversal del biodigestor se calculan con las ecuaciones 15 y 16.

$$r = \frac{C}{2 * \pi}$$

$$r = \frac{4 \text{ m}}{2 * \pi}$$

$$r = 0.64 \text{ m}$$

$$D = 2 * r$$

$$D = 2 * 0.64 \text{ m}$$

$$D = 1.28 \text{ m}$$

La sección transversal eficaz (S) y la longitud (L) del biodigestor se determinan con las ecuaciones 17 y 18 respectivamente.

$$S = \pi * r^2$$

$$S = \pi * 0.64 \text{ m}^2$$

$$S = 1.29 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{VT}{S}$$

$$L = \frac{9.60 \text{ m}^3}{1.29 \text{ m}^2}$$

$$L = 7.44 \text{ m}$$

$$L = 8.00 \text{ m (adoptada)}$$

La longitud calculada del biodigestor es de 7.44 m, por razones constructivas se adopta una longitud  $L = 8.00 \text{ m}$ . La longitud óptima de un biodigestor está entre 5 y 10 veces su diámetro; en el presente caso se tiene una relación de:  $8.00/1.28 = 6.25D$ , lo cual es correcto.

En resumen, se diseñó un biodigestor tubular con las siguientes dimensiones:

- ✓ Circunferencia (C) = 4.00 m.
- ✓ Diámetro (D) = 1.28 m.
- ✓ Longitud (L) = 8.00 m.

### 6.1.5 Cálculo de las dimensiones de la zanja

Con la longitud de 8.00 m del biodigestor recalculamos el volumen líquido del mismo con la siguiente ecuación:

$$VL = 0.75 * L * S \quad \text{Ecuación 29}$$

$$VL = 0.75 * 8.00 \text{ m} * 1.29 \text{ m}^2$$

$$VL = 7.74 \text{ m}^3$$

Con el volumen líquido calculado con la ecuación 24 y con la ecuación 19 se obtiene el área de la sección transversal de la zanja ( $Az$ ).

$$Az = \frac{VL}{L}$$

$$Az = \frac{7.74 \text{ m}^3}{8.00 \text{ m}^2}$$

$$Az = 0.97 \text{ m}^2$$

La sección transversal de la zanja es trapezoidal, por seguridad de las paredes se consideró una inclinación de  $15^\circ$  con respecto a la vertical, y se asumió una base o ancho menor de 0.80 m. Con los datos indicados y con la ecuación 23, mediante procesos iterativos, se calculó la altura de la zanja y el resto de dimensiones.

$$Az = [a + p * \tan(\alpha)] * p$$

$$0.97 \text{ m}^2 = [0.80 \text{ m} + p * \tan(15)] * p$$

En el proceso iterativo se da valores a la altura (p) hasta que se cumpla la igualdad; este proceso se puede automatizar con la hoja electrónica Microsoft Excel y la función [Buscar objetivo...], tal como se indica en la descripción de la ecuación 23.

El valor obtenido para la altura es  $p = 0.93$  m, el resto de dimensiones se calculan con las ecuaciones 21 y 22.

$$x = p * \tan(\alpha)$$

$$x = 0.93 * \tan(15)$$

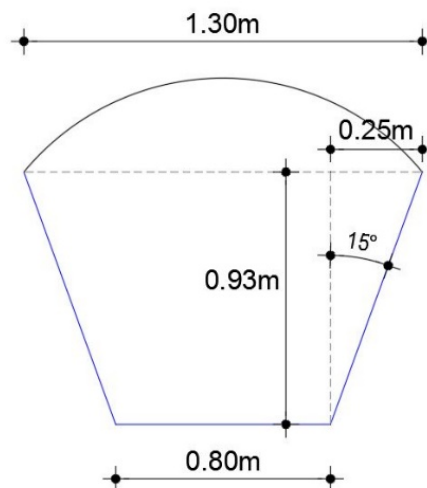
$$x = 0.25 \text{ m}$$

$$b = a + 2 * x$$

$$b = 0.80 \text{ m} + 2 * 0.25 \text{ m}$$

$$b = 1.30 \text{ m}$$

En la figura 39 se detallan las dimensiones calculadas:



**Figura 39** Dimensiones calculadas de la zanja

### 6.1.6 Cálculo de la potencia calorífica del biodigestor

La potencia calorífica depende del poder calorífico del biogás y del volumen de éste generado en el biodigestor; según Salazar & Guaman (2013), el poder calorífico inferior referencial del biogás es de  $5500.00 \text{ kcal/m}^3$ , el volumen de biogás generado por el biodigestor es de  $1.48 \text{ m}^3$ ; por lo tanto, la potencia calorífica del biodigestor es igual a:

$$\text{Potencia calorífica} = 5500.00 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 1.48 \text{ m}^3$$

$$\text{Potencia calorífica} = 8140.00 \text{ kcal}$$

$$\text{Potencia calorífica} = 8140.00 \text{ kcal} * \frac{0.001163 \text{ kW} \cdot \text{h}}{1 \text{ kcal}}$$

$$\text{Potencia calorífica} = 9.47 \text{ kW-h}$$

## 6.2 Evaluación técnica económica

### 6.2.1 Costo del biodigestor tubular

El presupuesto de implementación del biodigestor tubular con todos sus componentes consta en la tabla 18, el listado de materiales requeridos se detalla en la tabla 19; los análisis de precios unitarios correspondientes al presupuesto se encuentran en el Anexo 2.

**Tabla 18** Presupuesto del biodigestor tubular

ITEM	RUBRO / DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	EXCAVACION SIN CLASIFICAR A MANO	m3	13.50	10.81	145.94
2	BIODIGESTOR TUBULAR DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD e=0.75mm, INCLUYE TERMOSELLADO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN	m2	38.00	5.07	192.66
3	GASÓMETRO DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD e=0.75mm, INCLUYE TERMOSELLADO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN	m2	10.00	4.93	49.30
4	REPLANTILLO DE HORMIGÓN SIMPLE $f_c=140$ kg/cm <sup>2</sup> , MEZCLADO A MANO	m3	0.14	118.36	16.57
5	MAMPOSTERÍA DE LADRILLO	m2	3.00	17.59	52.77
6	REVESTIDO DE PAREDES CON MORTERO DE HORMIGÓN	m2	3.00	9.24	27.72
7	TUBERIA PVC PARA DESAGUE UNION C/S, (ESPIGO/CAMPANA) d=110mm, NORMA INEN 1374, INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACION	m	10.00	4.74	47.40
8	SALIDA DE PVC 3/4" PARA BIOGÁS	u	1.00	4.06	4.06
9	VÁLVULA DE ALIVIO PARA BIOGÁS - TUBERÍA DE PVC 3/4"	u	1.00	29.21	29.21
10	TRAMPA DE AGUA PARA INSTALACIÓN DE BIOGÁS 3/4" Y 1/2"	u	2.00	18.30	36.60
11	FILTRO DESULFURADOR 2" PARA INSTALACIÓN DE BIOGÁS	u	1.00	21.40	21.40
12	TUBERÍA PVC PRESIÓN ROSCABLE 3/4"	m	20.00	2.35	47.00
13	CODO PVC PRESIÓN ROSCADO 3/4"	u	6.00	1.79	10.74
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>681.37</b>
				<b>IVA (12%)</b>	<b>81.76</b>
				<b>TOTAL (US\$)</b>	<b>763.13</b>

*Nota:* Elaborado por Ingeniero Civil Edgar Paladínez Ramírez.

El presupuesto del biodigestor tubular se calculó mediante un enlace de hojas electrónicas de Microsoft Excel, este enlace lo elaboró el Ingeniero Civil Edgar Paladínez Ramírez.

**Tabla 19** *Materiales para construcción del biodigestor tubular*

ITEM	MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Adaptador hembra PVC C/R - E/C 25 mm - 3/4"	u	2.00	0.40	0.80
2	Adaptador PVC con rosca para tanque 3/4"	u	1.00	1.50	1.50
3	Agua	m3	0.12	0.30	0.04
4	Arena fina	m3	0.24	20.00	4.80
5	Arena gruesa	m3	0.07	18.00	1.31
6	Botella de plástico	u	1.00	0.25	0.25
7	Cemento gris	kg	93.62	0.18	16.85
8	Codo PVC presión roscado 3/4"	u	6.00	1.00	6.00
9	Geomembrana de polietileno de baja densidad lisa GM13 e=0.75 mm	m2	48.00	3.80	182.40
10	Grava	m3	0.11	18.00	1.92
11	Ladrillo Panelón	u	75.00	0.23	17.25
12	Llave de paso de bola 1/2"	u	2.00	8.50	17.00
13	Llave de paso de bola 3/4"	u	1.00	12.00	12.00
14	Polilimpia	lt	0.07	10.10	0.74
15	Polipega	lt	0.07	17.53	1.18
16	Reductor largo PVC E/C 50 mm – 25 mm	u	2.00	0.50	1.00
17	Tee PVC roscada 3/4"	u	1.00	3.50	3.50
18	Tee reductora PVC roscada 3/4" - 1/2"	u	2.00	5.00	10.00
19	Teflón	rollo	2.30	0.67	1.54
20	Tramo corto PVC desagüe pegable 50 mm	m	0.20	1.80	0.36
21	Tubería PVC desagüe E/C d=110 mm x3 m	m	10.00	3.85	38.50
22	Tubería PVC presión roscable 1/2"	m	0.50	1.25	0.63
23	Tubería PVC presión roscable 3/4"	m	20.30	1.75	35.53
24	Unión PVC presión roscada 3/4"	u	4.00	0.90	3.60
25	Unión universal PVC pegable 50 mm	u	2.00	4.00	8.00
26	Unión universal PVC roscada 3/4"	u	1.00	0.90	0.90
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>367.60</b>
				<b>IVA (12%)</b>	<b>44.11</b>
				<b>TOTAL (US\$)</b>	<b>411.71</b>

### 6.2.2 Costo del generador eléctrico

En la tabla 20 se detalla el costo del generador eléctrico marca GRETECH, modelo JL654173, el cual se importará desde China.

**Tabla 20** Costo del generador eléctrico

DESCRIPCIÓN	COSTO (US\$)
Precio del generador eléctrico	690.00
Costos por envío desde China	505.00
Tarifa arancelaria	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>1195.00</b>

### 6.2.3 Inversión inicial del proyecto

La construcción del biodigestor tubular y la instalación del generador eléctrico en la Sede de la Junta, con el fin de proveer a ésta de energía eléctrica producida con biogás, tiene el costo total que se detalla en la tabla 21.

**Tabla 21** Inversión inicial del proyecto

COMPONENTES	COSTO (US\$)
Biodigestor tubular de geomembrana	763.13
Generador eléctrico GRETECH - JL654173	1195.00
Conexión del generador eléctrico con el tablero eléctrico principal de la Sede	50.00
<b>TOTAL</b>	<b>2008.13</b>

US\$ 2008.13 es la inversión inicial del proyecto para la generación de energía eléctrica requerida por la Sede de la JAPP-S.

### 6.2.4 Determinación del ahorro e ingresos anuales

#### 6.2.4.1 Determinación del ahorro anual

El consumo anual de energía eléctrica que tendría la Sede de la Junta se calcula con la ecuación 24 y con los datos que constan en la tabla 8.

$$CA = CM * 12 \text{ meses}$$



$$CA = 110.91 \frac{\text{kW h}}{\text{mes}} * 12 \text{ mes}$$

$$CA = 1330.92 \frac{\text{kW h}}{\text{año}}$$

El ahorro anual que tendría la Junta se determina con la ecuación 25 y considerando que la EERSSA actualmente tiene una tarifa por consumo eléctrico de US\$ 0.13 por cada kW-h.

$$\text{Ahorro anual} = CA * \text{Tarifa}$$

$$\text{Ahorro anual} = 1330.92 \frac{\text{kW h}}{\text{año}} * 0.13 \frac{\text{US\$}}{\text{kW h}}$$

$$\text{Ahorro anual} = \frac{\text{US\$ } 173.02}{\text{año}}$$

#### 6.2.4.2 Determinación del ingreso anual

La Sede tendrá un ingreso anual por la venta del biol producido, cuyo volumen se determina con la ecuación 26.

$$V_{\text{biol}} = \frac{(168.00 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - 7.14 \frac{\text{kg}}{\text{día}})}{958.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{\text{biol}} = 0.16775 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$V_{\text{biol}} = 167.75 \frac{\text{litro}}{\text{día}}$$

En un mes la producción del biol será:

$$V_{\text{biol}} = 167.75 \frac{\text{litro}}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$V_{\text{biol}} = 5035.50 \text{ litros}$$

De este volumen mensual se considera que se venderá alrededor de un 2.00% que equivalen a 100.00 litros.

Los ingresos totales anuales se determinan con la ecuación 27, sumando el ahorro anual más los valores obtenidos por la venta de biol.

$$\text{Ingresos} = \text{Ahorro anual} + \text{Venta de biol}$$

$$\text{Ingresos} = \frac{\text{US\$ 173.02}}{\text{año}} + \frac{\text{US\$ 600.00}}{\text{año}}$$

$$\text{Ingresos} = \frac{\text{US\$ 773.02}}{\text{año}}$$

### ***6.2.5 Tiempo de amortización del proyecto***

El tiempo de amortización del proyecto se calcula con la ecuación 28.

$$\text{TA} = \frac{\text{Costo total del proyecto}}{\text{Ingresos}}$$

$$\text{TA} = \frac{\text{US\$ 2008.13}}{\frac{\text{US\$ 773.02}}{\text{año}}}$$

$$\text{TA} = 2.60 \text{ años}$$

El tiempo de amortización o de recuperación de la inversión económica en el proyecto es de 3 años; lo cual lo convierte en un proyecto rentable desde todo punto de vista.

## 7. Discusión

Generar energía eléctrica usando al biogás como combustible es un método que nos permite convertir, aquellos residuos considerados como basura, en una fuente de energía ecológica; es una idea revolucionaria pero aún no existe suficiente difusión e información sobre el tema; además existen otros inconvenientes que impiden su implementación en grandes escalas a nivel local, nacional y mundial.

La generación de energía a partir de la biomasa en nuestro país es aún incipiente, debido a que se han realizado grandes inversiones en otras fuentes de energía como las hidroeléctricas y el uso de combustibles fósiles. La promoción y difusión de sistemas energéticos amigables con el medio ambiente que aprovechen la bioenergía, reducirían significativamente el empleo de hidrocarburos; con lo cual se disminuye la contaminación y se impulsa la creación de una infraestructura de autoabastecimiento y auto sustentación energética.

Si comparamos el costo de la energía eléctrica producida por las hidroeléctricas y la generada mediante biodigestores no existe un beneficio económico a corto plazo, debido a la necesidad de utilizar equipos que son importados que generan costos adicionales, con lo cual se incrementa el presupuesto para la construcción y el mantenimiento del sistema. Es necesario destacar que actualmente la energía eléctrica es parcialmente subsidiada por el estado, a futuro el subsidio puede terminar, con lo cual la bioenergía sería más rentable.

La energía eléctrica producida por biogás permite tener independencia de la red eléctrica del país, es asequible a poblaciones rurales que se dedican a la agricultura y la ganadería, las cuales contarían con la materia prima necesaria para este tipo de proyectos; además hay que considerar que estas poblaciones se encuentren muy alejadas o de difícil acceso debido a sus condiciones geográficas.

La búsqueda de otros métodos para obtener energía eléctrica, de manera menos peligrosas para el planeta, es un factor primordial en la actualidad con todos los problemas que se han generado debido a la contaminación ambiental, a veces la falta de información ha impedido que las poblaciones conozcan y usen este tipo de generadores de energía y aun es difícil reemplazar a las tecnologías actuales; pero, poco a poco se están implementando alrededor de mundo con múltiples proyectos que muestran la viabilidad de estos sistemas, son métodos que muchos piensan que no tienen sentido pero tienen un gran potencial.

La investigación se encaminó de acuerdo a las diferentes normas y metodologías de diseños de biodigestores y generadores eléctricos a base de biogás; para lo cual, se recopiló la bibliografía necesaria para el diseño de este tipo de proyectos. Los cálculos y diseños se

realizaron utilizando software y programas técnicos relacionados con el tipo de proyecto a diseñar y ejecutar.

Se recomienda a la JAPP-S la generación de energía eléctrica mediante la construcción del biodigestor tubular, y la adquisición del generador eléctrico seleccionado, por todas las ventajas que tienen este tipo de proyectos, amigables con el medio ambiente y porque es rentable, ya que el tiempo de amortización del proyecto es de tres años.

## 8. Conclusiones

- La Sede de la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional del Pedregal, Saguaynuma y Calera Bajo, ubicada en el barrio El Pedregal de la parroquia rural Malacatos, para el normal desarrollo de sus actividades, requiere de 3.70 kW-h de energía eléctrica diarios, mientras que el requerimiento mensual es de 110.91 kW-h. Energía que será suministrada por un generador eléctrico de la marca GRETECH, modelo JL654173.
- Para generar el biogás requerido por el generador eléctrico seleccionado, se diseñó un biodigestor tubular que se construirá con geomembrana de baja densidad lisa GM13, con un espesor de 750 micras (0.75 mm). El biodigestor tubular tiene una longitud de 8.00m y un diámetro de 1.28 m; contará con todos sus componentes como: Cajas de entrada y salida, válvula de alivio, trampas de agua, filtro desulfurador, gasómetro y tubería PVC de 3/4” para la conducción del biogás.
- La implementación del proyecto requiere una inversión inicial de US\$ 2008.13, valor en el cual se incluyen los costos del biodigestor tubular, el generador eléctrico y las instalaciones. Con la ejecución del proyecto la Junta tendrá un ahorro anual de US\$ 173.02, adicionalmente tendrá un ingreso anual de US\$ 600.00 por la venta del biol, dando un ingreso anual total de US\$ 773.02. El tiempo de amortización del proyecto es de 3 años, lo cual demuestra que es un proyecto rentable desde todo punto de vista.

## 9. Recomendaciones

- Construir el proyecto de acuerdo a los diseños y materiales que se presentan en el presente estudio.
- Realizar una correcta operación y mantenimiento de todos y cada uno de los componentes del biodigestor y del generador eléctrico, a fin de lograr los años de vida útil del proyecto. La limpieza de los componentes debe ser rutinaria para que el sistema trabaje en óptimas condiciones.
- Evitar usar agua clorada en la mezcla con la materia orgánica, ya que ésta tiene colonia de microorganismos que pueden morir o disminuir su actividad metabólica por la acción del cloro.
- El biogás contiene elementos corrosivos como el  $H_2S$ ; por el ello se debe dar un constante mantenimiento al filtro desulfurador, a fin de garantizar el correcto funcionamiento del generador eléctrico; además, se debe utilizar tuberías de PVC para la conducción del biogás.
- El área donde se construya el biodigestor debe estar protegida para evitar el acceso de animales u otros elementos que puedan dañar las instalaciones.
- Medir experimentalmente el Poder Calorífico Inferior (PCI) del biogás, en base al contenido de metano presente en el biodigestor.

## 10. Bibliografía

- ARC. (2022). *Análisis y Determinación del Costo del Servicio de Energía Eléctrica Periodo : Enero-Diciembre 2022 Sector Eléctrico*. La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- AST. (2017). *Guía de Microsoft Excel 2016*. [https://ast.aragon.es/sites/default/files/primerospasos\\_excel2016.pdf](https://ast.aragon.es/sites/default/files/primerospasos_excel2016.pdf)
- Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
- Carrillo, L. (2012). *Energía de Biomasa* (Vol. 13, Número 2). [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj\\_3P7o9dP3AhVqTTABHRXtCH0QFnoECAyQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.bio-nica.info%2Fbiblioteca%2FCarrillo2004.pdf&usg=AOvVaw28aZDs\\_OOpYsZvPIJ6I1zt](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj_3P7o9dP3AhVqTTABHRXtCH0QFnoECAyQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.bio-nica.info%2Fbiblioteca%2FCarrillo2004.pdf&usg=AOvVaw28aZDs_OOpYsZvPIJ6I1zt)
- Castells, X. (2012). *Tratamiento termico de gases* (Primera Ed). Dias de Santos. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwilrpin9tP3AhWNSzABHSxpABAQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fbooks.google.com.ec%2Fbooks%3Fid%3DO4l\\_J4ymlpsC%26hl%3Des%26source%3Dgbs\\_book\\_other\\_versions\\_r%26cad%3D3&usg=AO](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwilrpin9tP3AhWNSzABHSxpABAQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fbooks.google.com.ec%2Fbooks%3Fid%3DO4l_J4ymlpsC%26hl%3Des%26source%3Dgbs_book_other_versions_r%26cad%3D3&usg=AO)
- CENTROSUR. (2016). *Instructivo para el trámite de aprobación de diseños de instalaciones eléctricas interiores para demandas inferiores a 12 kw y cargas instaladas menores a 20 kva*. CENTROSUR.
- CIDAR. (2016). *Guía de biodigestores edición final*. Antonio Raimondi. [https://www.equatorinitiative.org/nomination\\_documents/3592279\\_3\\_Guía BD Edición final.pdf](https://www.equatorinitiative.org/nomination_documents/3592279_3_Guía%20BD%20Edición%20final.pdf)
- CIDELSA. (2018). *Biodigestores una alternativa tecnológica para el futuro*. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiYx9DL99P3AhUXRjABHR\\_BC4sQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.cidelsa.com%2Fes%2Ffp%2Fbiodigestores-productivos%2F&usg=AOvVaw0CA7Uh9tJe08zHIWyrD\\_K3](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiYx9DL99P3AhUXRjABHR_BC4sQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.cidelsa.com%2Fes%2Ffp%2Fbiodigestores-productivos%2F&usg=AOvVaw0CA7Uh9tJe08zHIWyrD_K3)

- Cotrina, R. (2011). *Biodigestores Tubulares*. Soluciones Prácticas. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwji7peZ99P3AhWnQzABHZnLDg8QFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.midagri.gob.pe%2Fportal%2Fdownload%2Fpdf%2Fespeciales%2Fbioenergia%2Fcusco\\_cedepac%2Fimportancia-biodigesto](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwji7peZ99P3AhWnQzABHZnLDg8QFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.midagri.gob.pe%2Fportal%2Fdownload%2Fpdf%2Fespeciales%2Fbioenergia%2Fcusco_cedepac%2Fimportancia-biodigesto)
- EMAC. (2017). *Planta de Biogás – EMAC*. <https://emac.gob.ec/servicios/planta-de-biogas/>
- González, C. (2014). *Estudio técnico-económico para la producción de biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia*. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/27048/TFM\\_González\\_Cabrera%2C\\_Ana\\_María\\_-\\_copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/27048/TFM_González_Cabrera%2C_Ana_María_-_copia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- GOOGLE EARTH. (2021). *Ubicación geográfica*. EARTH. <https://earth.google.com/web/@-4.20477524,-79.26857053,1562.52478858a,306.58704956d,35y,-1.90250476h,50.32023571t,0r>
- GRETECH, A. (2016). *GRETECH-generador de energía portátil JL654173*. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/gretech-jl654173-gas-powered-portable-silent-inverter-generator-power-5000-w-portable-up-to-1600344545001.html>
- Jaramillo, L., & Romero, R. (2012). *Implementación de un biodigestor automatizado para el granja Zapotepamba de la Universidad Nacional de Loja*.
- MAGAP. (2012). *Fase de construcción de diagnostico Malacatos*. GAD PARROQUIAL DE MALACATOS.
- Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*.
- MERNNR. (2020). *Balance energético nacional*. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- PQA. (2015). *Manual técnico de geomembranas PAG*. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiz3ZiB-NP3AhVbTTABHchJBwwQFnoECAyQAQ&url=https%3A%2F%2Fdocuments.ec%2Fdocument%2Fmanual-tc389cnico-de-geomembranas-pag.html&usg=AOvVaw3TXrZD-GnsRxRzaw1TxjVt>



*Proyecto de biogás Relleno Sanitario El Inga I y II – ARCONEL.* (s/f). Recuperado el 28 de febrero de 2021, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/proyecto-de-biogas-relleno-sanitario-el-inga-i-y-ii/>

PUXIN. (2020). *Importadores de biodigestores.* [www.biogaspuxin.es](http://www.biogaspuxin.es)

Quintero Gonzáles, J. (2015). *Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente.* 18(2), 6–7. <http://visual.ly/power-from-tides>

Reinaldo, K., Nacaza, C., Javier, G., & Cahuatijo, M. (2010). *Diseño Y Construcción De Un Biodigestor Para Pequeñas Y Medianas Granjas" Proyecto Previo a La Obtención Del Título De Ingeniero Mecánico.* En *Escuela Politécnica Nacional Facultad De Ingeniería Mecánica.*

Ronda, J. V. (2019). *Consultoría medioambiental.* HEURA. <https://heura.net/consultoria-medio-ambiental/>

Secretaría de Energía. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa.* *Energías Renovables.*

SIGTIERRAS. (2020). *Sigtierras catastro rural.* <http://www.sigtierras.gob.ec>

Salazar, J., & Guaman, N. (2013). *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogás en la quinta Punzara de la Universidad Nacional de Loja.* *Universidad Nacional de Loja*

## 11. Anexos

### Anexo 1. Hoja de cálculo para diseño del biodigestor

#### DISEÑO DE BIODIGESTORES TUBULARES

**PROYECTO:** Biodigestor para la JAAP-S Regional del Pedregal

**UBICACIÓN:** Barrio El Pedregal de la parroquia Malacatos

**DISEÑO:** Franz Eduardo Paladínez Ludeña

#### 1. REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA

Energía requerida para Sede de la JAAP-S 3.70 kWh/día

#### 2. DATOS DEL GENERADOR ELÉCTRICO SELECCIONADO

Marca del Generador Eléctrico	GRETECH
Modelo del Generador Eléctrico	JL654173
Consumo de Biogás para generar 1 kWh	0.35 m <sup>3</sup>
	350.00 lit
Volumen de Biogás necesario para generar la energía requerida	1.30 m <sup>3</sup> /día
	1300.00 lit/día

#### 3. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO POR EL BIODIGESTOR

Materia orgánica disponible (Mod)	42.00 kg/día
Cantidad de agua agregada (Relación 1:3)	126.00 lit/día = kg/día
Mezcla diluida - Md (Estiércol + agua)	168.00 kg/día
Densidad aparente de la mezcla diluida	958.89 kg/m <sup>3</sup>
Carga diaria del biodigestor con la materia orgánica disponible	0.18 m <sup>3</sup> /día
	180.00 lit/día
Porcentaje de sólidos totales	17.00 %
Factor de producción de biogás	0.27 m <sup>3</sup> /día
Sólidos totales presentes en la (Mod)	7.14 kg/día
Sólidos volátiles presentes en la (Mod)	5.50 kg/día
Volumen de biogás producido por día	1.48 m <sup>3</sup> /día
Biogás producido / Biogás requerido	1.14 Correcto

#### 4. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

Temperatura de trabajo del biodigestor (Tt)	20.00 °C
Tiempo de retención recomendado (TR)	40.00 días
Volumen líquido del biodigestor	7200.00 lit 7.20 m <sup>3</sup>
Volumen gaseoso del biodigestor	2.40 m <sup>3</sup>
Volumen total del biodigestor	9.60 m <sup>3</sup>
Circunferencia del biodigestor (C)	4.00 m
Radio del biodigestor [r]	0.64 m
Diámetro del biodigestor (D)	1.28 m
Sección eficaz (S)	1.29 m <sup>2</sup>
Longitud del biodigestor	7.44 m
Longitud del biodigestor adoptada	8.00 m
Longitud óptima del biodigestor (5xD - 10xD)	6.25D Correcto

#### 5. CÁLCULO DE DIMENSIONES DE LA ZANJA TRAPEZOIDAL

Volumen líquido según longitud adoptada	7.74 m <sup>3</sup>
Area transversal de la zanja	0.97 m <sup>2</sup>
Angulo vertical ( $\alpha$ )	15.00 °
Ancho inferior de la zanja (a)	0.80 m
Altura de la zanja (p) - Proceso iterativo	0.93 m
Area transversal de la zanja - Proceso iterativo	0.97 m <sup>2</sup>
Ancho superior de la zanja (b)	1.30 m

#### 6. DIMENSIONES ADOPTADAS

Diámetro del biodigestor	1.28 m
Longitud del biodigestor	8.00 m
Ancho inferior de la zanja	0.80 m
Ancho superior de la zanja	1.30 m
Altura de la zanja	0.93 m

## 7. DIMENSIONAMIENTO DEL GASÓMETRO

Volumen total del biodigestor	9.60 m <sup>3</sup>
Volumen del gasómetro ( 1:5 )	1.92 m <sup>3</sup>
Longitud del gasómetro	1.89 m
Longitud del gasómetro adoptada	1.90 m
Diámetro del gasómetro	1.00 m

## Anexo 2. Análisis de precios unitarios

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:  
EXCAVACION SIN CLASIFICAR A MANO

DETALLE: UNIDAD: m3

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.44750

SUBTOTAL (M) 0.44750

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	1	3.83	3.83000	2.00000	7.66000
Inspector de obra	0.15	4.30	0.64500	2.00000	1.29000

SUBTOTAL (N) 8.95000

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO

SUBTOTAL (O)

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

SUBTOTAL (P)

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)		9.39750
INDIRECTOS Y UTILIDADES	15.00%	1.40963
OTROS INDIRECTOS		
COSTO TOTAL DEL RUBRO		10.81
VALOR OFERTADO		10.81

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**

BIODIGESTOR TUBULAR DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD e=0.75mm, INCLUYE TERMOSELLADO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN

**DETALLE:**

**UNIDAD:** m2

**EQUIPOS**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.02402
Termoselladora eléctrica	1.00	2.5000	2.50000	0.04167	0.10418

**SUBTOTAL (M)**

**0.12820**

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	2	3.83	7.66000	0.04167	0.31919
Operador de equipo liviano	1	3.87	3.87000	0.04167	0.16126

**SUBTOTAL (N)**

**0.48045**

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Geomembrana de polietileno de baja densidad lisa GM13 e=0.75mm	m2	1.0000	3.8000	3.80000

**SUBTOTAL (O)**

**3.80000**

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		4.40865
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	0.66130
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>5.07</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>5.07</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**

GASÓMETRO DE GEOMEMBRANA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD e=0.75mm, INCLUYE TERMOSELLADO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN

**DETALLE:**

**UNIDAD:** m2

**EQUIPOS**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.01922
Termoselladora eléctrica	1.00	2.5000	2.50000	0.03333	0.08333

**SUBTOTAL (M)** 0.10255

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	2	3.83	7.66000	0.03333	0.25531
Operador de equipo liviano	1	3.87	3.87000	0.03333	0.12899

**SUBTOTAL (N)** 0.38430

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Geomembrana de polietileno de baja densidad lisa GM13 e=0.75mm	m2	1.0000	3.8000	3.80000

**SUBTOTAL (O)** 3.80000

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		4.28685
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	0.64303
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>4.93</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>4.93</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**

REPLANTILLO DE HORMIGÓN SIMPLE f'c=140 kg/cm2, MEZCLADO A MANO

**DETALLE:**

**UNIDAD:** m3

**EQUIPOS**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					1.15300

**SUBTOTAL (M)** 1.15300

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	2	3.83	7.66000	2.00000	15.32000
Albañil	1	3.87	3.87000	2.00000	7.74000

**SUBTOTAL (N)** 23.06000

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Cemento gris	kg	309.0000	0.1800	55.62000
Arena gruesa	m3	0.5200	18.0000	9.36000
Grava	m3	0.7600	18.0000	13.68000
Agua	m3	0.1500	0.3000	0.04500

**SUBTOTAL (O)** 78.70500

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	102.91800
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b> 15.00%	15.43770
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>118.36</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>118.36</b>



PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:  
MAMPOSTERÍA DE LADRILLO

DETALLE: UNIDAD: m2

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.32083

**SUBTOTAL (M)** **0.32083**

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Albañil	1	3.87	3.87000	0.83333	3.22499
Peón	1	3.83	3.83000	0.83333	3.19165

**SUBTOTAL (N)** **6.41664**

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Ladrillo Panelón	u	25.0000	0.2300	5.75000
Arena fina	m3	0.0500	20.0000	1.00000
Cemento gris	kg	10.0000	0.1800	1.80000
Agua	m3	0.0250	0.3000	0.00750

**SUBTOTAL (O)** **8.55750**

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>	15.29497
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b> <span style="float: right;">15.00%</span>	2.29425
<b>OTROS INDIRECTOS</b>	
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>	<b>17.59</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>17.59</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**  
REVESTIDO DE PAREDES CON MORTERO DE HORMIGÓN

**DETALLE:** **UNIDAD:** m2

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.29564

**SUBTOTAL (M)** **0.29564**

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	1	3.83	3.83000	0.72727	2.78544
Albañil	1	3.87	3.87000	0.72727	2.81453
Inspector de obra	0.1	4.30	0.43000	0.72727	0.31273

**SUBTOTAL (N)** **5.91270**

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Arena fina	m3	0.0300	20.0000	0.60000
Cemento gris	kg	6.7850	0.1800	1.22130
Agua	m3	0.0072	0.3000	0.00216

**SUBTOTAL (O)** **1.82346**

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		8.03180
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	1.20477
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>9.24</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>9.24</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**

TUBERIA PVC PARA DESAGUE UNION C/S, (ESPIGO/CAMPANA) d=110mm, NORMA INEN 1374, INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACION

**DETALLE:**

**UNIDAD:** m

**EQUIPOS**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.00535

**SUBTOTAL (M)** 0.00535

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	1	3.83	3.83000	0.01389	0.05320
Plomero	1	3.87	3.87000	0.01389	0.05375

**SUBTOTAL (N)** 0.10695

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Tubería PVC desague E/C d=110mmx3m	m	1.0000	3.8500	3.85000
Polilimpia	lt	0.0061	10.1000	0.06161
Polipega	lt	0.0056	17.5300	0.09817

**SUBTOTAL (O)** 4.00978

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		4.12208
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	0.61831
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>4.74</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>4.74</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:  
SALIDA DE PVC 3/4" PARA BIOGÁS

DETALLE: UNIDAD: u

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.09675

**SUBTOTAL (M)** **0.09675**

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1	3.87	3.87000	0.50000	1.93500

**SUBTOTAL (N)** **1.93500**

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Adaptador PVC con rosca para tanque 3/4"	u	1.0000	1.5000	1.50000

**SUBTOTAL (O)** **1.50000**

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		3.53175
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	0.52976
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>4.06</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>4.06</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**

VÁLVULA DE ALIVIO PARA BIOGÁS - TUBERÍA DE PVC 3/4"

**DETALLE:**

**UNIDAD:** u

**EQUIPOS**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.38700

**SUBTOTAL (M)** 0.38700

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1	3.87	3.87000	2.00000	7.74000

**SUBTOTAL (N)** 7.74000

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Tee PVC roscada 3/4"	u	1.0000	3.5000	3.50000
Unión universal PVC roscada 3/4"	u	1.0000	0.9000	0.90000
Llave de paso de bola 3/4"	u	1.0000	12.0000	12.00000
Tubería PVC presión roscable 3/4"	m	0.3000	1.7500	0.52500
Botella de plástico	u	1.0000	0.2500	0.25000
Teflon	rollo	0.1500	0.6700	0.10050

**SUBTOTAL (O)** 17.27550

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		25.40250
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	3.81038
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>29.21</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>29.21</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**

TRAMPA DE AGUA PARA INSTALACIÓN DE BIOGÁS 3/4" Y 1/2"

**DETALLE:**

**UNIDAD:** u

**EQUIPOS**

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.09675

**SUBTOTAL (M)** 0.09675

**MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1	3.87	3.87000	0.50000	1.93500

**SUBTOTAL (N)** 1.93500

**MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Tee reductora PVC roscada 3/4" - 1/2"	u	1.0000	5.0000	5.00000
Tubería PVC presión roscable 1/2"	m	0.2500	1.2500	0.31250
Llave de paso de bola 1/2"	u	1.0000	8.5000	8.50000
Teflon	rollo	0.1000	0.6700	0.06700

**SUBTOTAL (O)** 13.87950

**TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		15.91125
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	2.38669
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>18.30</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>18.30</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**  
FILTRO DESULFURADOR 2" PARA INSTALACIÓN DE BIOGÁS

**DETALLE:** **UNIDAD:** u

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.38700

**SUBTOTAL (M)** **0.38700**

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1	3.87	3.87000	2.00000	7.74000

**SUBTOTAL (N)** **7.74000**

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Unión universal PVC pegable 50mm	u	2.0000	4.0000	8.00000
Tramo corto PVC desague pegable 50mm	m	0.2000	1.8000	0.36000
Reductor largo PVC E/C 50mm - 25mm	u	2.0000	0.5000	1.00000
Adaptador hembra PVC C/R - E/C 25mm - 3/4"	u	2.0000	0.4000	0.80000
Poliimpia	lt	0.0122	10.1000	0.12322
Polipega	lt	0.0112	17.5300	0.19634

**SUBTOTAL (O)** **10.47956**

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		18.60656
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	2.79098
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>21.40</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>21.40</b>

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**RUBRO:**  
TUBERÍA PVC PRESIÓN ROSCABLE 3/4"

**DETALLE:** **UNIDAD:** m

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.00461

**SUBTOTAL (M)** **0.00461**

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1	3.87	3.87000	0.02381	0.09214

**SUBTOTAL (N)** **0.09214**

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Tubería PVC presión roscable 3/4"	m	1.0000	1.7500	1.75000
Unión PVC presión roscada 3/4"	u	0.1670	0.9000	0.15030
Teflon	rollo	0.0750	0.6700	0.05025

**SUBTOTAL (O)** **1.95055**

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		2.04730
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	0.30710
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>2.35</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>2.35</b>



PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA LA JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO:  
CODO PVC PRESIÓN ROSCADO 3/4"

DETALLE: UNIDAD: u

#### EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramientas manuales (5% M.O.)					0.02419

**SUBTOTAL (M)** **0.02419**

#### MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO-H	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1	3.87	3.87000	0.12500	0.48375

**SUBTOTAL (N)** **0.48375**

#### MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Codo PVC presión roscado 3/4"	u	1.0000	1.0000	1.00000
Teflon	rollo	0.0750	0.6700	0.05025

**SUBTOTAL (O)** **1.05025**

#### TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO

**SUBTOTAL (P)**

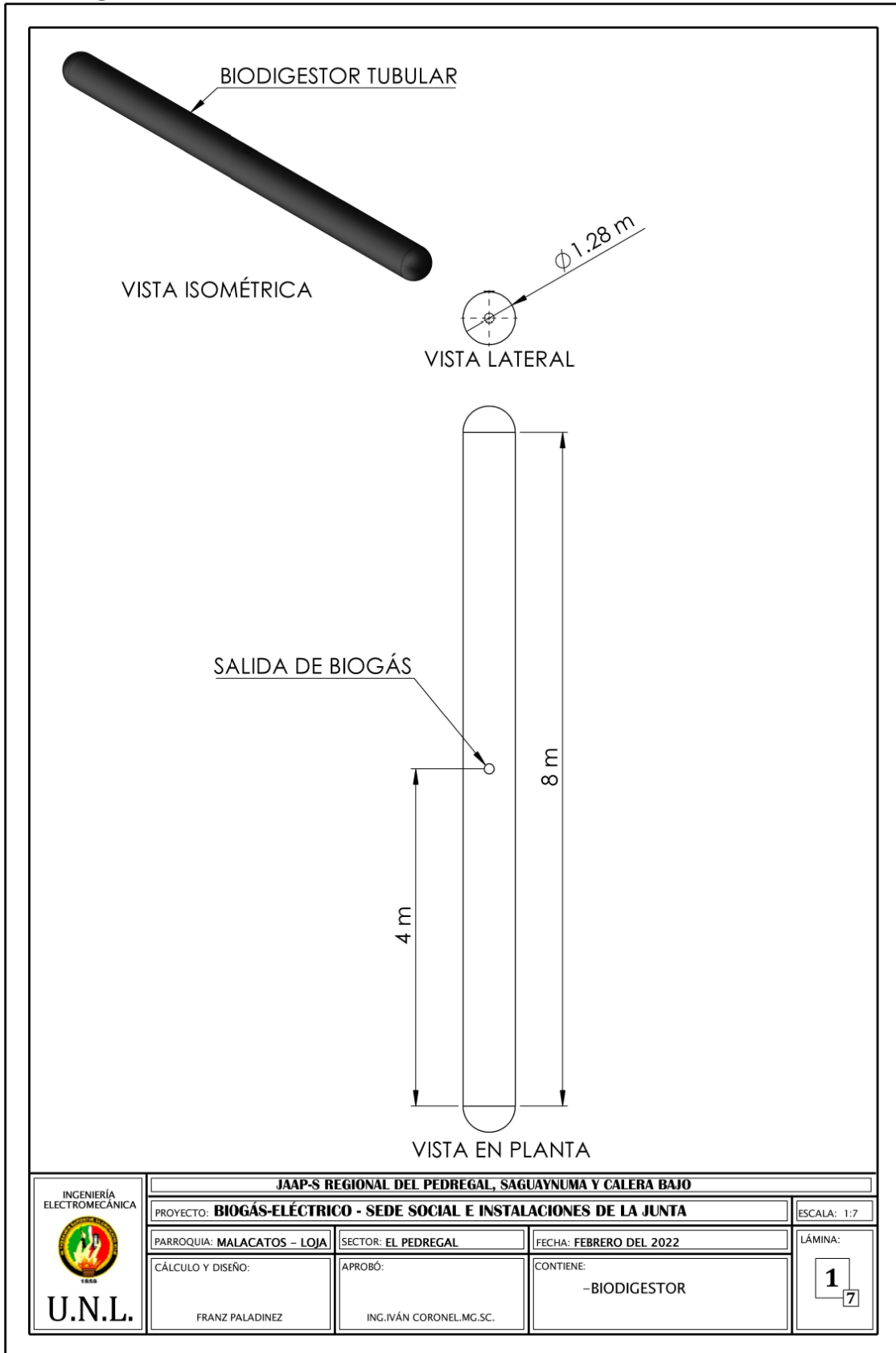
Estos precios no incluyen IVA

FECHA: FEBRERO/2022

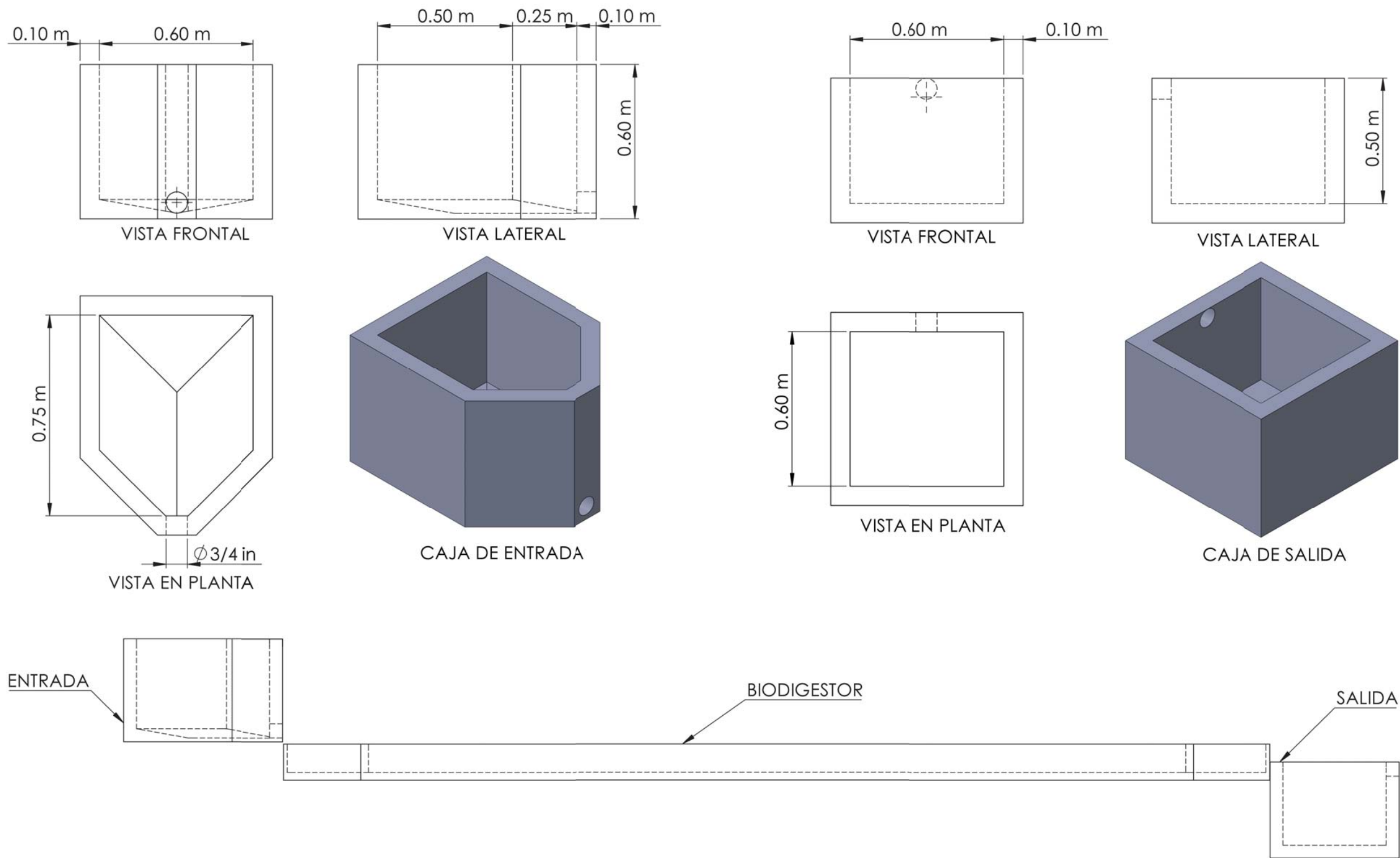
FRANZ EDUARDO PALADÍNEZ LUDEÑA  
TESISTA

<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)</b>		1.55819
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES</b>	15.00%	0.23373
<b>OTROS INDIRECTOS</b>		
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>		<b>1.79</b>
<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>1.79</b>

### Anexo 3. Biodigestor tubular

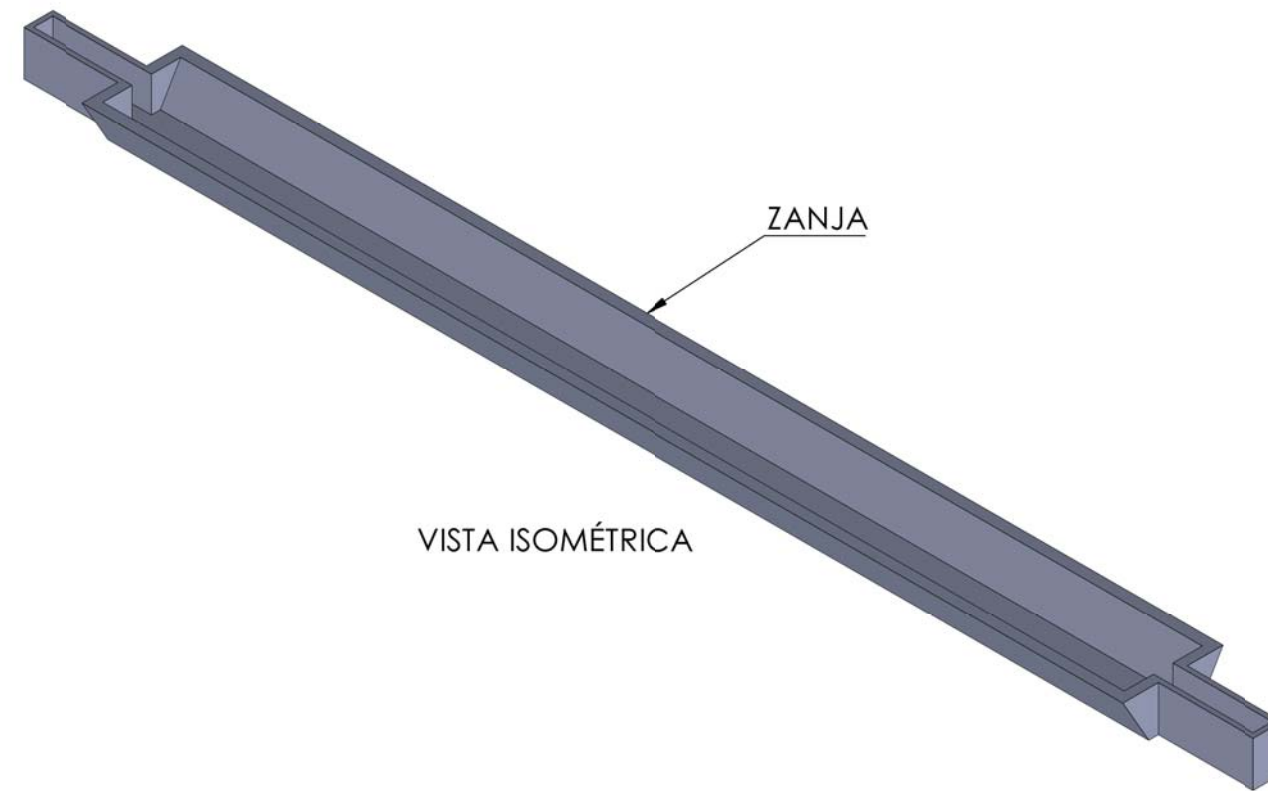
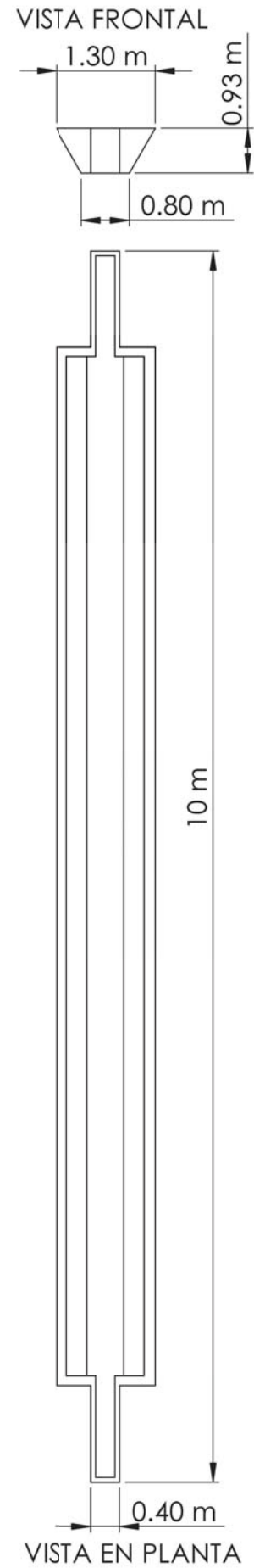



Anexo 4. Dimensiones de las cajas de entrada y salida



<p>INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA U.N.L.</p>	<b>JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO</b>			
	PROYECTO: <b>BIOGÁS-ELÉCTRICO - SEDE SOCIAL E INSTALACIONES DE LA JUNTA</b>			ESCALA: 1:5
	PARROQUIA: <b>MALACATOS - LOJA</b>	SECTOR: <b>EL PEDREGAL</b>	FECHA: <b>FEBRERO DEL 2022</b>	LÁMINA:
	CÁLCULO Y DISEÑO:  FRANZ PALADINEZ	APROBÓ:  ING. IVÁN CORONEL.MG.SC.	CONTIENE: -CAJA DE ENTRADA -CAJA DE SALIDA	2 7

Anexo 5. Dimensiones de la zanja



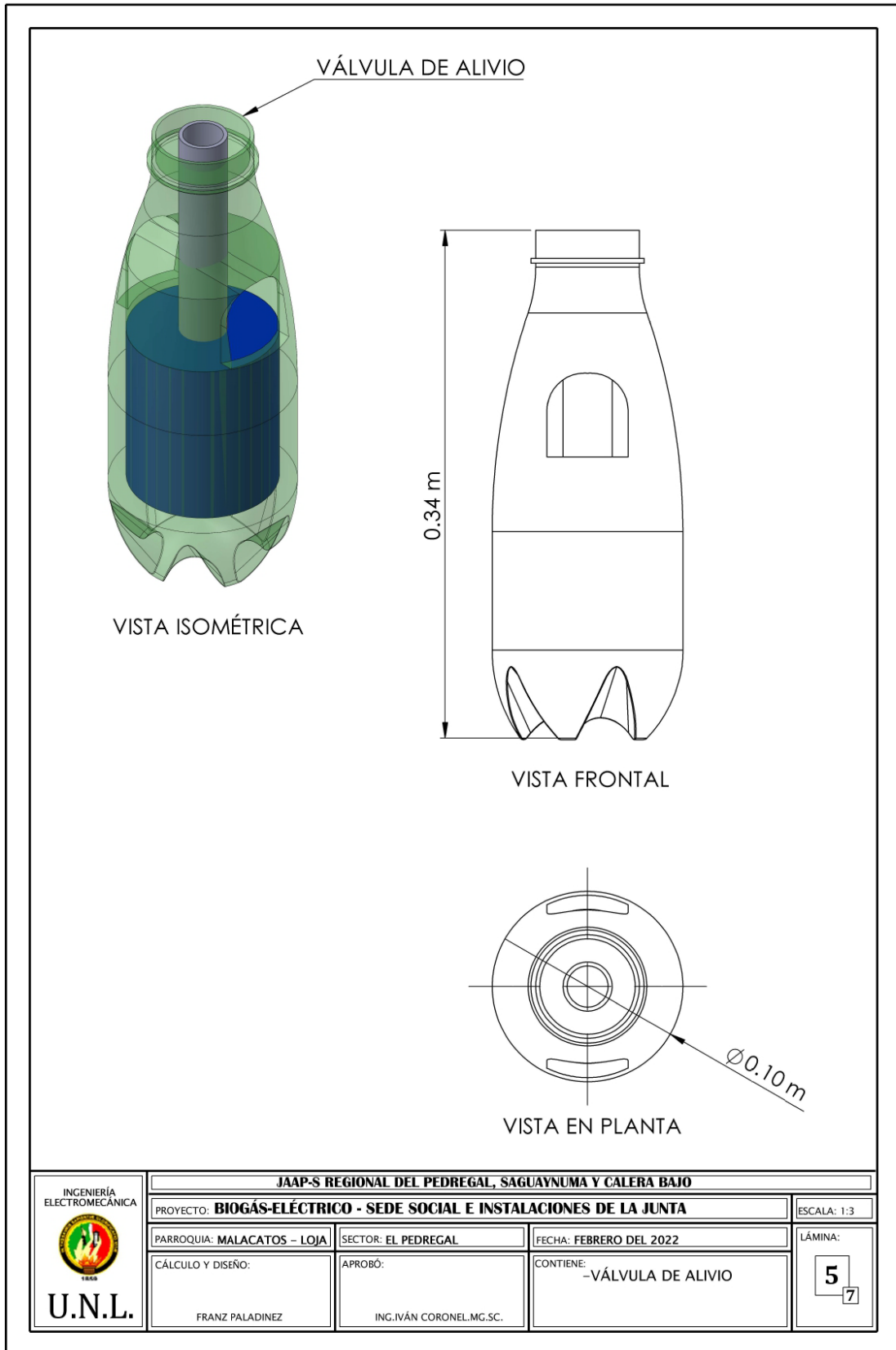
 <p>INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA</p> <p>U.N.L.</p>	<b>JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO</b>			
	PROYECTO: <b>BIOGÁS-ELÉCTRICO - SEDE SOCIAL E INSTALACIONES DE LA JUNTA</b>			ESCALA: 1:15
	PARROQUIA: <b>MALACATOS - LOJA</b>	SECTOR: <b>EL PEDREGAL</b>	FECHA: <b>FEBRERO DEL 2022</b>	LÁMINA:
	CÁLCULO Y DISEÑO:  FRANZ PALADINEZ	APROBÓ:  ING. IVÁN CORONEL.MG.SC.	CONTIENE: <b>-ZANJA</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>3</b> 7         </div>

## Anexo 6. Gasómetro

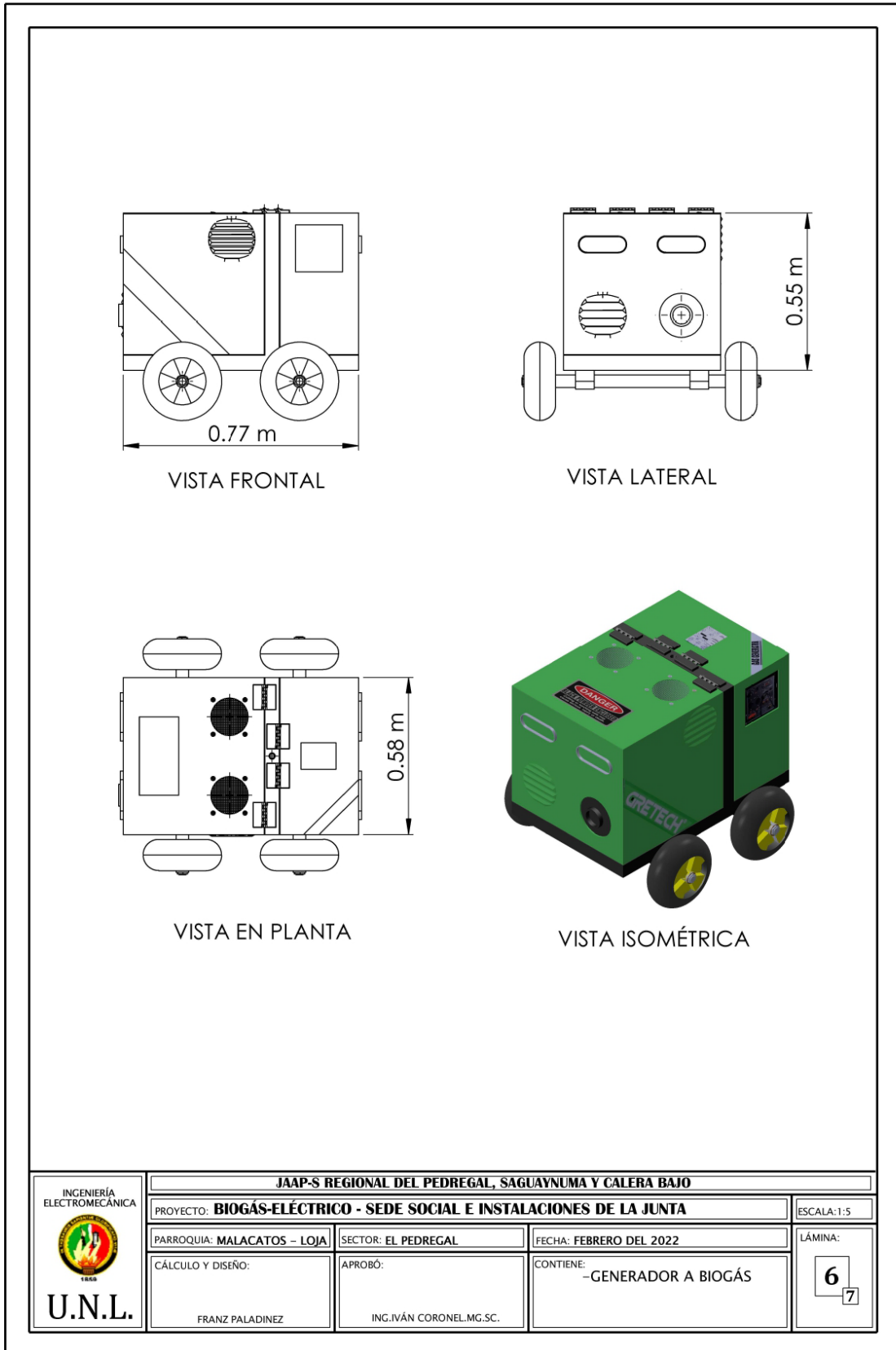


 <p>INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA</p> <p>U.N.L.</p>	<b>JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO</b>			
	PROYECTO: <b>BIOGÁS-ELÉCTRICO - SEDE SOCIAL E INSTALACIONES DE LA JUNTA</b>			ESCALA: 1:6
	PARROQUIA: MALACATOS - LOJA	SECTOR: EL PEDREGAL	FECHA: FEBRERO DEL 2022	LÁMINA:
	CÁLCULO Y DISEÑO: FRANZ PALADINEZ	APROBÓ: ING. IVÁN CORONEL.MG.SC.	CONTIENE: -GASÓMETRO	4 7

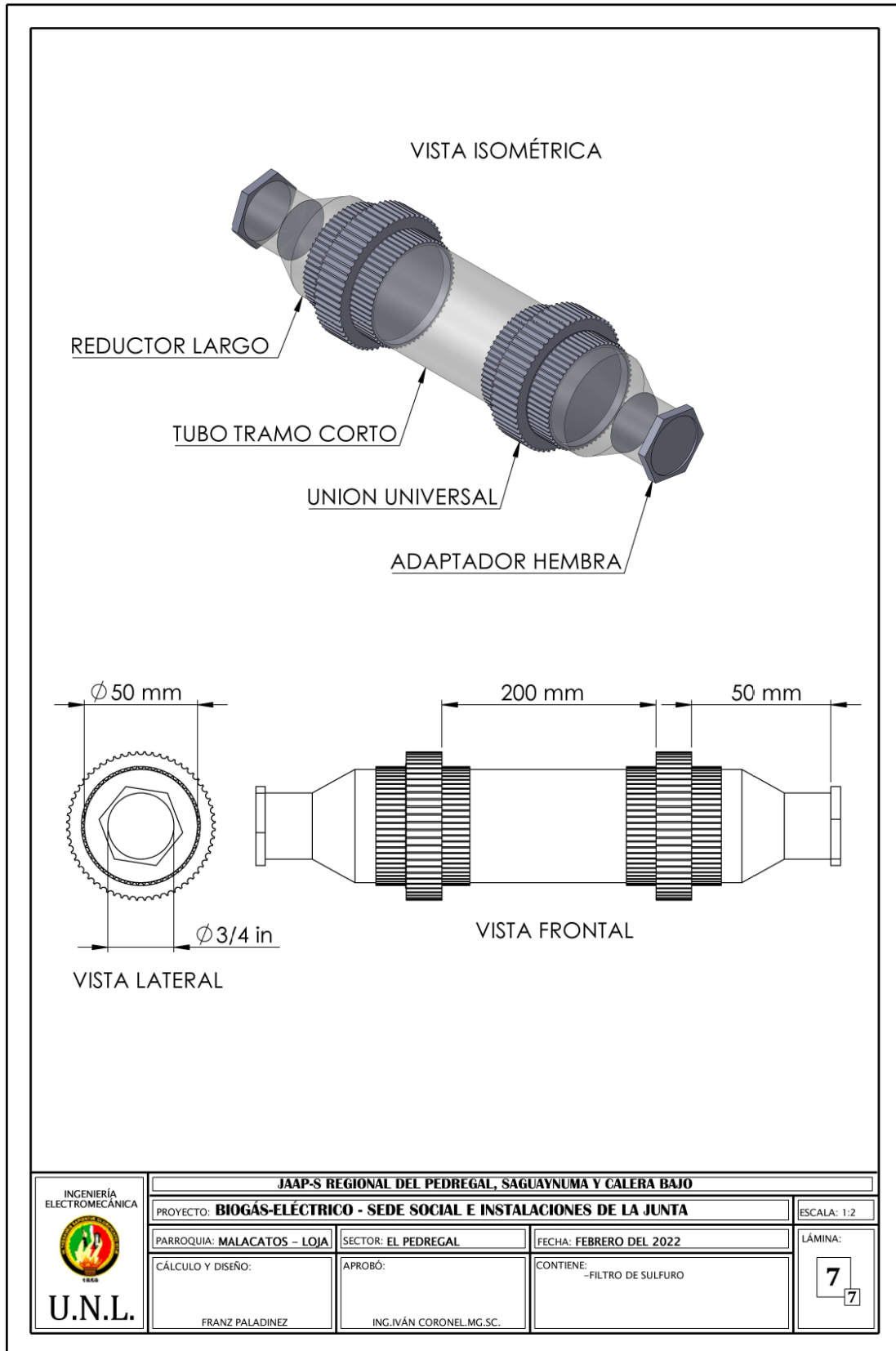
## Anexo 7. Válvula de alivio



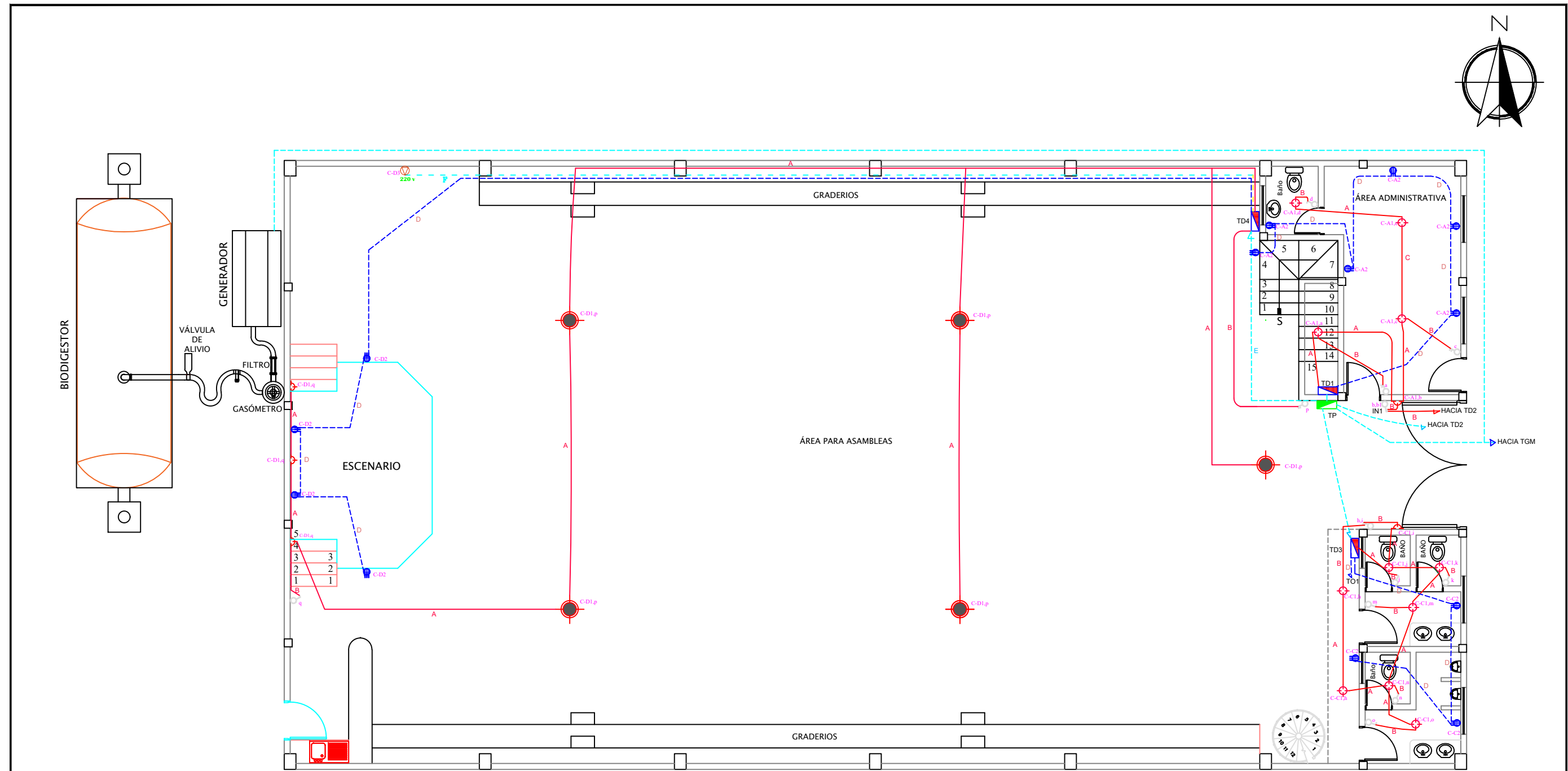
## Anexo 8. Dimensiones del generador eléctrico



## Anexo 9. Filtro desulfurador







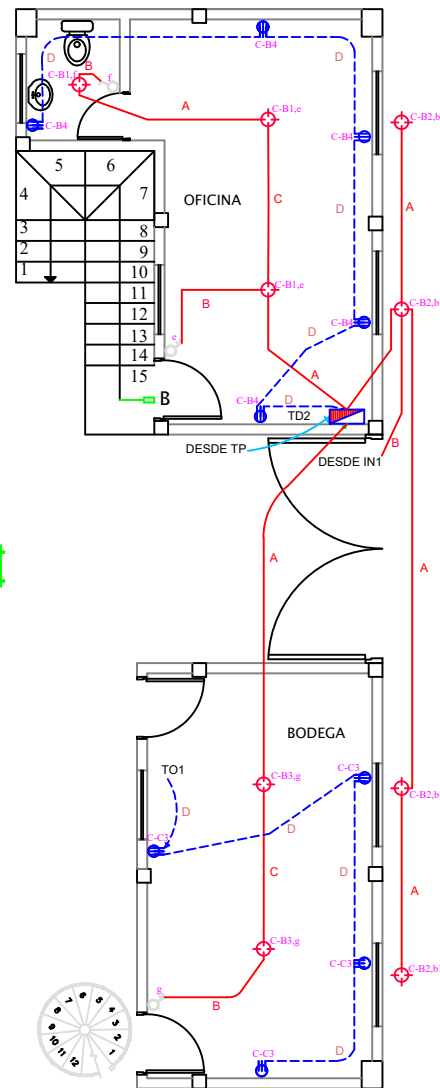
**SIMBOLOGÍA**

	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL (TP)		CIRCUITO DE ILUMINACIÓN
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO (TD)		CIRCUITO DE FUERZA
	LUMINARIA LED 8W		CIRCUITO ESPECIAL
	LUMINARIA LED 100W		2x14 - 1/2" φ
	LUMINARIA TIPO BAQUELITA		2x14 - 1/2" φ
	TOMACORRIENTE POLARIZADO		4x14 - 1/2" φ
	INTERRUPTOR SIMPLE		2x12+1x14 - 1/2" φ
	INTERRUPTOR DOBLE		2x10 - 1/2" φ
	TOMA ESPECIAL DE FUERZA (cocina, calentador eléctrico, ventilador, etc)		3x12 - 1/2" φ
	CONTADOR DE ENERGÍA		
	PUESTA A TIERRA		

**PLANTA ÁREA SOCIAL Y ADMINISTRATIVA**  
ESCALA: 1 : 50

 <b>INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA</b> <b>U.N.L.</b>	<b>JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO</b>			ESCALA: LAS INDICADAS
	PROYECTO: <b>ELÉCTRICO - SEDE SOCIAL E INSTALACIONES DE LA JUNTA</b>			LÁMINA: <b>1</b> 2
	PARROQUIA: MALACATOS - LOJA	SECTOR: EL PEDREGAL	FECHA: FEBRERO DEL 2022	
	CÁLCULO Y DISEÑO:  FRANZ PALADÍNEZ	APROBÓ:  ING. IVÁN CORONEL MG. SC.	CONTIENE: - Instalación de redes y luminarias - Área administrativa - Baterías sanitarias - Área social	

CUADRO DE ÁREAS	
DESCRIPCIÓN	ÁREA
ÁREA ADMINISTRATIVA	54.79m <sup>2</sup>
BAÑOS	16.91 m <sup>2</sup>
BODEGA	21.52 m <sup>2</sup>
ESCENARIO	19.55 m <sup>2</sup>
GRADERIOS	42.75 m <sup>2</sup>
ACCESO	10.89 m <sup>2</sup>
ÁREA PARA ASAMBLEAS	400.81 m <sup>2</sup>
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN	540.19 m <sup>2</sup>
CUBIERTA	520.21 m <sup>2</sup>
TERRENO	642.00 m <sup>2</sup>

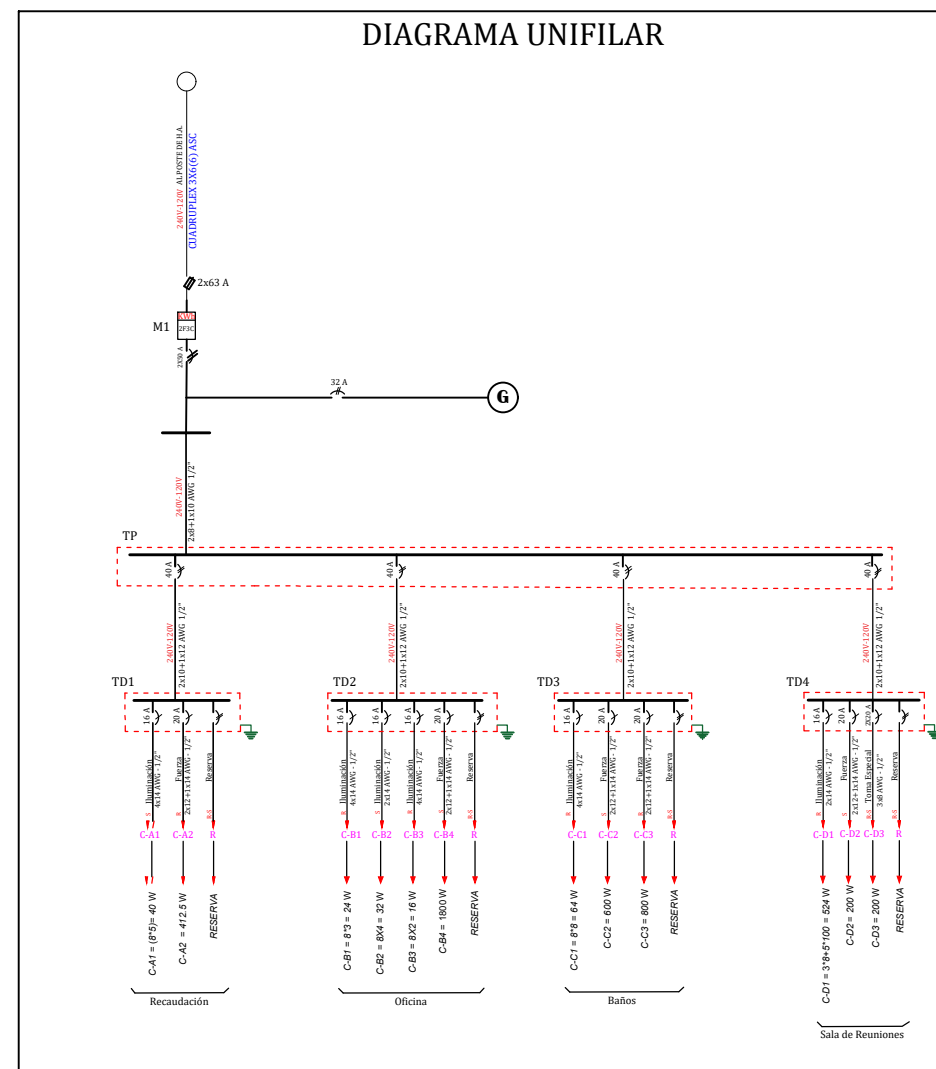


PLANTA ALTA N=+2.65  
ESCALA 1 : 50

### UBICACIÓN



### DIAGRAMA UNIFILAR



### SIMBOLOGÍA

	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL (TP)		CIRCUITO DE ILUMINACIÓN
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIO (TD)		CIRCUITO DE FUERZA
	LUMINARIA LED 8W		CIRCUITO ESPECIAL
	LUMINARIA LED 100W		2x14 - 1/2" φ
	LUMINARIA TIPO BAQUELITA		2x14 - 1/2" φ
	TOMACORRIENTE POLARIZADO		4x14 - 1/2" φ
	INTERRUPTOR SIMPLE		2x12+1x14 - 1/2" φ
	INTERRUPTOR DOBLE		2x10 - 1/2" φ
	TOMA ESPECIAL DE FUERZA (cocina, calentador eléctrico, ventilador, etc)		3x12 - 1/2" φ
	CONTADOR DE ENERGÍA		
	PUESTA A TIERRA		

INGENIERÍA  
ELECTROMECÁNICA



U.N.L.

### JAAP-S REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO

PROYECTO: ELÉCTRICO - SEDE SOCIAL E INSTALACIONES DE LA JUNTA

ESCALA:  
LAS INDICADAS

PARROQUIA: MALACATOS - LOJA

SECTOR: EL PEDREGAL

FECHA: SEPTIEMBRE DEL 2020

LÁMINA:

CÁLCULO Y DISEÑO:

APROBÓ:

CONTIENE:

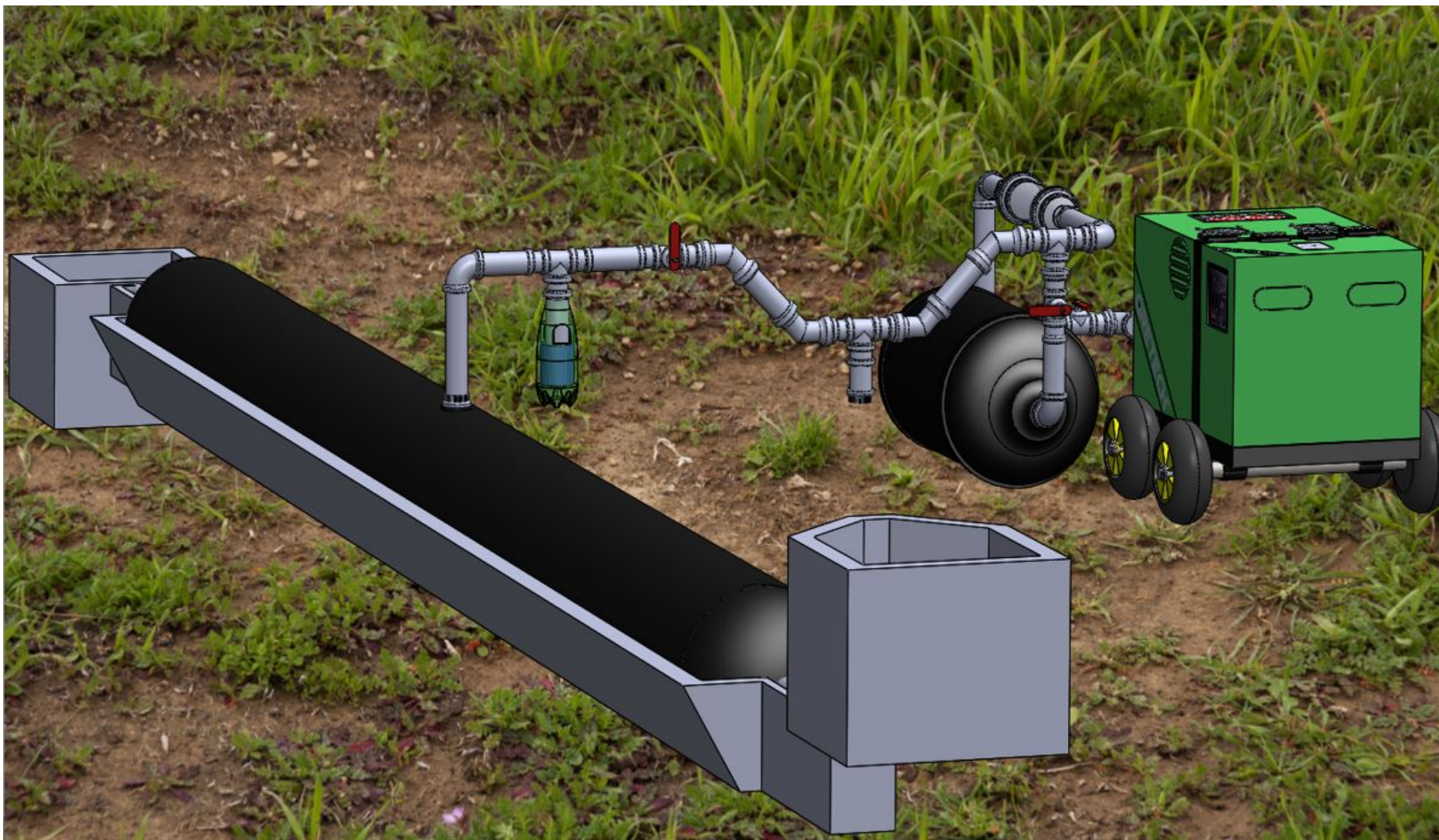
FRANZ PALADÍNEZ

ING. IVÁN CORONEL MG. SC.

- Instalación de redes y luminarias  
- Planta alta  
- Emplazamiento  
- Simbología eléctrica

2

Anexo 11. Representación gráfica del sistema instalado



Anexo 12. Demanda de diseño de la sede

Circuito Eléctrico	Denominación	Número de Fases	Voltaje Nominal (V)	Carga Instalada (W)	Factor de Coincidencia	Demanda Coincidente (W)	Intensidad (A)	Calibre (AWG)	Diámetro Ducto (In)	Protección (A)	Fases
--------------------	--------------	-----------------	---------------------	---------------------	------------------------	-------------------------	----------------	---------------	---------------------	----------------	-------

TD 1		TABLERO TD1 (RECAUDACIÓN)				FACTOR DE COINCIDENCIA: 0,7					
Iluminación	C-A1	1	120	40	0.7	28	0.2	1x14(14)	1/2'	1P-16A	S
Fuerza	C-A2	1	120	412.5	0.35	144	1.2	1x12(12)+14	1/2'	1P-20A	R
<b>Acometida Principal TD1</b>		Carga Instal=		<b>452.5</b>	D. Coincid=	<b>172</b>	<b>1.4</b>	<b>2X6(6)+1X8</b>	<b>3/4'</b>	<b>2P-40A</b>	<b>RS</b>

TD 2		TABLERO TD2 (BODEGAS)				FACTOR DE COINCIDENCIA: 0,7					
Iluminación	C-B1	1	120	24	0.7	17	0.1	1x14(14)	1/2'	1P-16A	R
Iluminación	C-B2	1	120	32	0.7	22	0.2	1x14(14)	1/2'	1P-16A	S
Iluminación	C-B3	1	120	16	0.7	11	0.1	1x14(14)	1/2'	1P-16A	R
Fuerza	C-B4	1	120	1800	0.35	630	5.3	1x12(12)+14	1/2'	1P-20A	S
<b>Acometida Principal TD2</b>		Carga Instal=		<b>1872</b>	D. Coincid=	<b>680</b>	<b>5.7</b>	<b>2X6(6)+1X8</b>	<b>3/4'</b>	<b>2P-40A</b>	<b>RS</b>

TD 3		TABLERO TD3 (BAÑOS)				FACTOR DE COINCIDENCIA: 0,7					
Iluminación	C-C1	1	120	64	0.7	45	0.4	1x14(14)	1/2'	1P-16A	R
Fuerza	C-C2	1	120	600	0.35	210	1.8	1x12(12)+14	1/2'	1P-20A	S
Fuerza	C-C3	1	120	800	0.35	280	2.3	1x12(12)+14	1/2'	1P-20A	R
<b>Acometida Principal TD3</b>		Carga Instal=		<b>1464</b>	D. Coincid=	<b>535</b>	<b>4.5</b>	<b>2X6(6)+1X8</b>	<b>3/4'</b>	<b>2P-40A</b>	<b>RS</b>

TD 4		TABLERO TD4 (SALA DE REUNIONES)				FACTOR DE COINCIDENCIA: 0,7					
Iluminación	C-D1	1	120	524	0.7	367	3.1	1x14(14)	1/2'	1P-16A	R
Fuerza	C-D2	1	120	200	0.35	70	0.6	1x12(12)+14	1/2'	1P-20A	S
Especial	C-D3	2	240	200	1	200	0.8	2x8(8)	3/4'	2P-16A	RS
<b>Acometida Principal TD4</b>		Carga Instal=		<b>924</b>	D. Coincid=	<b>637</b>	<b>4.5</b>	<b>2X6(6)+1X8</b>	<b>3/4'</b>	<b>2P-40A</b>	<b>RS</b>

CARGA INSTALADA EN (kW)	4.71
DEMANDA COINCIDENTE DE LA INSTALACIÓN (kW)	2.02
FACTOR DE SIMULTANEIDAD EN EL TGM	0.8
DEMANDA DIVERSIFICADA EN (kW)	1.62
FACTOR DE POTENCIA	0.92
<b>Dem. Máx. Total Sin Cocinas de Inducción (kVA)</b>	<b>1.76</b>

	R	S
BALANCE DE CARGAS W	964	1060.4
DIST. CARGA %	47.62	52.38

<b>Demanda para toma especial (kVA)</b>	<b>0.17</b>
---	-------------

<b>Demanda Proyectada Total de la Sede (kVA)</b>	<b>1.93</b>
--	-------------

**LA DEMANDA DE DISEÑO DE LA SEDE ES DE 1,93 kVA**

### Anexo 13. Certificación de la traducción al idioma inglés del resumen.



UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

FACULTAD E LA EDUCACIÓN, EL ARTE Y LA COMUNICACIÓN  
CARRERA DE PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMA NACIONALES Y EXTRANJEROS

Loja, 8 de Julio de 2022

Yo, Marcia Iliana Criollo Vargas, con cédula de Identidad 11026233038, docente de la Carrera de Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros de la Universidad Nacional de Loja, y Magister en Teaching English as a Foreign Language, CERTIFICA:

Que como profesional en dominio del Idioma inglés y español, puedo certificar que la traducción del resumen del trabajo de titulación denominado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE BIOGÁS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA A LA SEDE DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL DEL PEDREGAL, SAGUAYNUMA Y CALERA BAJO, UBICADA EN EL BARRIO PEDREGAL – MALACATOS, a cargo del estudiante, Franz Eduardo Paladínez Ludeña, cédula de identidad Nro. 1105703928, cumple con una traducción correcta y precisa.

Lo Certifica:



Firmado electrónicamente por:  
**MARCIA ILIANA  
CRIOLLO  
VARGAS**

PhD. Marcia Criollo Vargas, Mg. Sc.  
DOCENTE DE LA CARRERA PINE