



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA  
GAD DE SALCEDO”.**

---

**AUTOR:** Castro Díaz Sebastián Fernando

**TUTOR:** Ing. Mg. Luis Escobar

**AMBATO – ECUADOR**

**2020**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto técnico sobre el tema, “DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS PARA EL GAD DE SALCEDO”, ejecutado por el señor CASTRO DIAZ SEBASTIÁN FERNANDO, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación reúne los requisitos para ser sometidos a evaluación de jurado examinador designado por el H. Consejo Directivo.

Ambato, 17 de enero del 2020

EL TUTOR

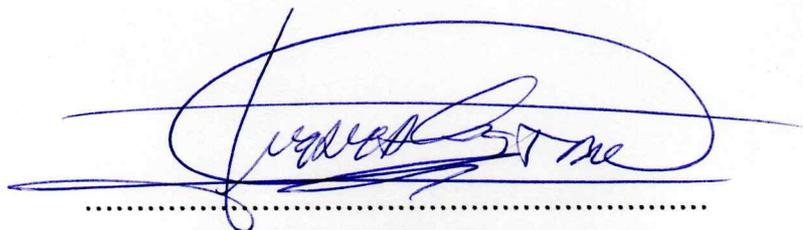


.....  
Ing. Mg. Luis Escobar

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Yo, Castro Díaz Sebastián Fernando con C.I. 180481504-9, declaro que los criterios emitidos, resultados obtenidos y expuestos en el presente proyecto técnico sobre el tema, “DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS PARA EL GAD DE SALCEDO”, son de mi autoría, y es de exclusiva responsabilidad de mi persona.

Ambato, 17 de enero de 2020



Castro Díaz Sebastián Fernando

CI. 180481504-9

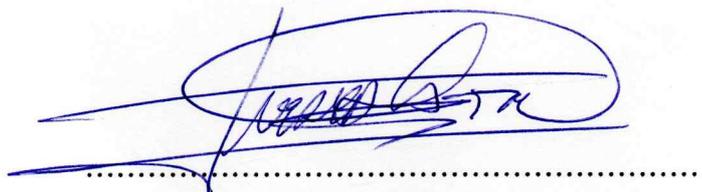
AUTOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para la lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de este Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción del mismo dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, 17 de enero de 2020



Castro Díaz Sebastián Fernando

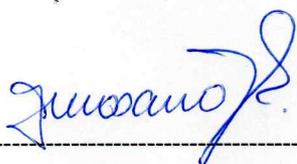
CI. 180481504-9

AUTOR

### **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS PARA EL GAD DE SALCEDO”, del egresado Sebastián Fernando Castro Díaz, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, enero del 2020



Ing. Mg. Luis Yunapanta



Ing. Mg. Santiago Cabrera

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico al ser de luz que para mí es mi madre puesto que todo lo que he conseguido en este mundo, se lo debo, ya que sin su apoyo nunca hubiese alcanzado mis metas. Cuando sentía que todo se derrumbaba y que mis sueños se escapaban, me alentaste. Querida Mamita, desde siempre has sido mi fuente de inspiración y motivación.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, a Dios puesto que ha permitido llegar al culmino de esta etapa, brindándome sabiduría y fuerzas para seguir en este largo camino, que me ha enseñado a enfrentar los diferentes obstáculos que se presentaron y también agradezco las enseñanzas dejadas después de superarlos.

Agradezco a mi hermano José Luis el que es como padre para mí, que siempre estuvo presente brindándome aliento y apoyo incondicional.

Agradezco a mi esposa Mónica por el apoyo, por el cariño, por la motivación, por la paciencia, por la ayuda brindada a lo largo de estos 7 años que hemos compartido, por impulsarme a ser mejor cada día, por ser el motor que me mueve para seguir adelante y por ser todo lo que más quiero en esta vida.

Agradezco a mi padre Gustavo por sus sabios concejos, por sus enseñanzas de vida.

Agradezco al Ing. Rodrigo Morales, en el cargo de Director de servicios públicos y Gestión Ambiental del GAD municipal den cantón Salcedo por abrirme las puertas de la institución y brindarme todas las facilidades para el normal desarrollo del presente proyecto.

Un agradecimiento especial a la Ing. M. Eng. Mayra Paucar, quien desde un inicio confió en mí y fue un puntal importante en el desarrollo del proyecto.

Un agradecimiento especial a mí tutor el Ing. Mg. Luis Escobar, quien me brindo los lineamientos necesarios para el correcto desarrollo del presente proyecto y también aporto sus valiosos conocimientos para hacer de este trabajo algo excepcional.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, y a cada uno de sus docentes por el conocimiento impartido en mi vida universitaria que con ello he logrado formarme como un profesional y también como persona.

## Índice General

<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</b> .....	II
<b>AUTORÍA DEL TRABAJO</b> .....	III
<b>DERECHOS DE AUTOR</b> .....	IV
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	V
<b>DEDICATORIA</b> .....	VI
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	VII
<b>RESUMEN</b> .....	XVI
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	1
<b>1.1. Antecedentes Investigativo</b> .....	1
<b>1.1.1. Investigaciones preliminares</b> .....	1
<b>1.2. Objetivos</b> .....	2
<b>1.2.1. Objetivo general:</b> .....	2
<b>1.2.2. Objetivos específicos:</b> .....	2
<b>1.3. Justificación</b> .....	2
<b>1.4. Fundamentación Teórica</b> .....	4
<b>1.4.1. Residuos</b> .....	4
<b>1.4.2. Relleno sanitario</b> .....	8
<b>1.4.3. Biogás</b> .....	11
<b>1.4.4. Diseño de los digestores</b> .....	17
<b>1.4.5. Sistema de conducción</b> .....	20
<b>1.4.6. Sistema de quemado</b> .....	21
<b>1.4.7. Sistema de limpieza</b> .....	22
<b>1.4.8. Uso de biogás en rellenos sanitarios</b> .....	22
<b>1.4.9. Situación actual del de relleno sanitario del GAD de Salcedo</b> .....	25
<b>1.4.10. Aspecto demográfico</b> .....	25
<b>1.4.11. Aspectos económicos</b> .....	26
<b>1.4.12. Proyección de residuos sólidos urbanos</b> .....	27
<b>CAPÍTULO II</b> .....	31
<b>METODOLOGÍA</b> .....	31

<b>2.1</b>	<b>Materiales .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2</b>	<b>Métodos.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Selección de alternativas del sistema de extracción .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1.1</b>	<b>Matriz morfológica .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1.2</b>	<b>Análisis de alternativas.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.1.3</b>	<b>Evaluación de alternativas .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Estructura de la fase de diseño .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Casa de la calidad.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Caracterización del relleno sanitario .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Estimación promedio del biogás .....</b>	<b>47</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Estimación promedio del metano. ....</b>	<b>52</b>
	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>53</b>
	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Resultados y discusión del proyecto propuesto .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Diseño de la captación, distribución y sistema de almacenamiento del biogás. ...</b>	<b>53</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Pozos y red vertical .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Purificación del biogás.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Diseño del tanque de almacenamiento del biogás .....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Selección de separadores de humedad .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Selección de sopladores.....</b>	<b>72</b>
<b>3.1.7</b>	<b>Bonos de carbono .....</b>	<b>74</b>
<b>3.1.8</b>	<b>Transformación de biogás a generación de electricidad.....</b>	<b>75</b>
<b>3.1.9</b>	<b>Layout ductos colectores .....</b>	<b>76</b>
<b>3.2</b>	<b>Análisis de factibilidad económica.....</b>	<b>76</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Costos .....</b>	<b>76</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Flujo de caja .....</b>	<b>78</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) .....</b>	<b>80</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Valor presente neto (VAN).....</b>	<b>80</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Tasa interna de retorno (TIR) .....</b>	<b>81</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Periodo de recuperación de la inversión .....</b>	<b>81</b>
	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>83</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>

<b>4.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>83</b>
<b>4.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>84</b>
<b>C.</b>	<b>MATERIALES DE REFERENCIA.....</b>	<b>85</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>91</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1-1:</b> Clasificación de los residuos sólidos urbanos del cantón Salcedo .....	7
<b>Tabla 1-2:</b> Contribución porcentual de los tipos RSU del cantón Salcedo .....	7
<b>Tabla 1-3:</b> Aplicaciones del biogás en el mundo .....	24
<b>Tabla 1-4:</b> Distribución de la población, por sexo y parroquias en el cantón Salcedo. ...	26
<b>Tabla 1-5:</b> Inflación.....	26
<b>Tabla 1-6:</b> Tasa de empleo, desempleo y subempleo.....	27
<b>Tabla 1-7:</b> Residuos sólidos urbanos durante el Año 2018.....	28
<b>Tabla 2-1:</b> Matriz morfológica.....	32
<b>Tabla 2-2:</b> Definiciones económicas.....	36
<b>Tabla 2-3:</b> Valoración económica .....	37
<b>Tabla 2-4:</b> Definiciones técnicas.....	38
<b>Tabla 2-5:</b> Valoración técnica .....	39
<b>Tabla 2-6:</b> Componentes del biogás.....	47
<b>Tabla 2-7:</b> Índice de generación de metano, según la precipitación anual .....	49
<b>Tabla 2-8:</b> Índice de generación potencial de metano, según la precipitación anual .....	49
<b>Tabla 2-9:</b> Factor de corrección de metano.....	50
<b>Tabla 2-10:</b> Entradas de modelo .....	51
<b>Tabla 2-11:</b> Proyección de generación y recuperación de biogás .....	52
<b>Tabla 3-1:</b> Espesor de pared y relación de dimensión estándar .....	55
<b>Tabla 3-2:</b> Porcentaje de relleno a captar.....	60
<b>Tabla 3-3:</b> Nomograma de pérdida de cargas de accesorios .....	62
<b>Tabla 3-4:</b> Propiedades de los aceros estructurales.....	68
<b>Tabla 3-5:</b> Tipo de soplantes.....	73

<b>Tabla 3-6:</b> Características generales del biogás .....	75
<b>Tabla 3-7:</b> Costos de materiales .....	77
<b>Tabla 3-8:</b> Costo de mano de obra en el montaje.....	77
<b>Tabla 3-9:</b> Costo de mano de obra para la operación y el mantenimiento.....	77
<b>Tabla 3-10:</b> Costo indirecto.....	78
<b>Tabla 3-11:</b> Flujo de caja .....	79

## Índice de Figuras

<b>Figura 1-1:</b> Método de construcción de relleno sanitario tipo trinchera. [8] .....	9
<b>Figura 1-2:</b> Método de construcción de relleno sanitario tipo área. [8].....	10
<b>Figura 1-3:</b> Método para rellenar depresiones tipo área. [8].....	10
<b>Figura 1-4:</b> Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario. [8]....	11
<b>Figura 1-5:</b> Sistema de drenaje activo. [13].....	14
<b>Figura 1-6:</b> Digestor tipo chino. [16].....	19
<b>Figura 1-7:</b> Digestor tipo hindú. [16].....	20
<b>Figura 1-8:</b> Sistema de tuberías de conducción conectadas. [17] .....	21
<b>Figura 1-9:</b> Quemador abierto. [17].....	21
<b>Figura 1-10:</b> Separador de humedad. [17] .....	22
<b>Figura 1-11:</b> Aplicaciones del uso del biogás. [21] .....	23
<b>Figura 1-12:</b> Mapa de ubicación del relleno sanitario Jachaguango. [2] .....	25
<b>Figura 1-13:</b> Peso de residuos sólidos recuperado. [23] .....	27
<b>Figura 1-14:</b> Proceso de recolección de desechos sólidos. [3] .....	30
<b>Figura 2-1:</b> Alternativa de quema sin recuperación de energía. [17].....	33
<b>Figura 2-2:</b> Alternativa de quema con recuperación de energía. [17] .....	34
<b>Figura 2-3:</b> Esquema del desarrollo de la función de calidad (QFD) [24, p. 178] .....	41
<b>Figura 2-4:</b> Casa de la calidad. [24].....	44
<b>Figura 3-1:</b> Levantamiento topográfico del relleno sanitario. [33].....	53
<b>Figura 3-2:</b> Detalle relleno sanitario. [33] .....	53
<b>Figura 3-3:</b> Detalle del sitio levantado. [33] .....	54
<b>Figura 3-4:</b> Esquema de captación en pozo. ....	57
<b>Figura 3-5:</b> Procedimiento por membranas. [36].....	58

**Figura 3-6:** Soplante de proceso. [42].....73

**Figura 3-7:** Diagrama de Sankey .....76

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 2-1 Flujo de Biogás Modelo Mexicano.....	47
Ecuación 2-2 Flujo de Biogás Modelo Ecuatoriano .....	50
Ecuación 3-1 Caudal .....	61
Ecuación 3-2 Perdida de Carga.....	64
Ecuación 3-3 Perdida por Tramos.....	64
Ecuación 3-4 Volúmen.....	65
Ecuación 3-5 Presión.....	66
Ecuación 3-6 Masa.....	66
Ecuación 3-7 Esfuerzo permisible .....	67
Ecuación 3-8 Esfuerzo .....	68
Ecuación 3-9 Diametro medio .....	68
Ecuación 3-10 Esfuerzo requerido .....	68
Ecuación 3-11 Radio Medio .....	69
Ecuación 3-12 Esfuerzo Tangencial.....	70
Ecuación 3-13 Esfuerzo Longitudinal.....	71
Ecuación 3-14 Esfuerzo Cortante.....	72
Ecuación 3-15 Valor Presente Neto .....	80
Ecuación 3-16 Tasa interna de retorno.....	81
Ecuación 3-17 Periodo de Recuperación de la Inversión.....	81

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA EL GAD  
DE SALCEDO**

**Autor:** Sebastián Fernando Castro Díaz

**Tutor:** Ing. Mg. Luis Escobar

**RESUMEN**

Con los parámetros obtenidos de los residuos sólidos urbanos (RSU) del relleno sanitario de 8 480 643,27 Kg, ubicado en San Pedro de Jachaguango a 4 Km de distancia del Parque Central de la ciudad de Salcedo, en el año 2019; donde se obtuvo según el modelo de producción de biogás de EE.UU, preparada por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA), 5.5 metros cúbicos por hora; diseñándose una unidad de captación, distribución y almacenamiento, en donde bajo Norma ASME B31.8, se determina que la tubería a usar debería ser de DN = 6 pulgadas de PVC, con un sistema de purificación por membranas, con un tanque de almacenamiento de  $r = 1.5$  m y una altura de 3.5 m, con un espesor de pared de 3 mm, generando anualmente 16 030.80\$ de ingresos.

El presente trabajo surge de la necesidad de evitar la liberación de metano CH<sub>4</sub> por el impacto que este tiene sobre el ambiente, planteando captarlo y darle un uso posterior.

**Palabras clave:** Unidad de Captación, distribución, Norma ASME B3.1.8, tanque de almacenamiento.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING**  
**MECHANICAL ENGINEERING CAREER**  
**DESIGN OF A BIOGAS PRODUCTION PLANT FOR GAD OF SALCEDO**

**Author:** Sebastián Fernando Castro Díaz

**Advisor:** Ing. Mg. Luis Escobar

**SUMMARY**

With the parameters obtained from urban solid waste (MSW) of the landfill of 8 480 643.27 Kg, located in San Pedro de Jachaguango 4 km away from the Central Park of the city of Salcedo, in the year 2019; where it was obtained according to the US biogas production model, prepared by the Agency for Environmental Protection (EPA), 5.5 cubic meters per hour; designing a collection, distribution and storage unit, where under ASME B31.8, it is determined that the pipe to be used should be DN = 6 inches of PVC, with a membrane purification system, with a storage tank of  $r = 1.5$  m and a height of 3.5m, with a wall thickness of 3mm, generating annually \$ 3,030.80 of revenue.

The present work arises from the need to avoid the release of CH<sub>4</sub> methane due to its impact on the environment, considering capturing it and giving it a later use.

**Keywords:** Collection Unit, distribution, ASME B3.1.8 Standard, storage tank.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Investigaciones preliminares

El relleno sanitario de Salcedo, ubicado en San Pedro de Jachaguango a 4 Km de distancia del parque Central de Salcedo, con un espacio de 34 hectáreas, no cuenta en la actualidad con una planta que ayude aprovechar los desperdicios, donde el reciclaje se da mediante el uso de materiales tantas veces como sea posible.

Por lo que como, antecedentes, se puede citar que:

Garcés (2017), con el trabajo de titulación denominado determinación de tipos de biomasa energético para la producción de biogás de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Salcedo, concluyó que: la clasificación y cuantificación de los residuos permitió evidenciar que la cantidad de residuos es proporcional a los habitantes de la zona, sus actividades comerciales y cotidianas; clasificando los residuos generados, para aprovechar los componentes de las mismas. [1]

Según Jácome (2016), con el tema tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Salcedo provincia de Cotopaxi mediante Floculación Iónica y Técnica FENTON en el año 2015, concluyó que este tipo de aplicación y técnica, ayudo a disminuir los olores desagradables, provocados por los desechos arrojados en el relleno sanitario, aplicándose voltajes de corriente continua a los floculadores en un rango que varía entre 3.0 y 9.0 voltios y corriente que varía entre 2.1 a 4.6 Amperios, demostrándose que es un proceso de bajo costo. [2]

Naranjo & Asunta (2007), bajo el tema proyecto de factibilidad para la creación de una planta de tratamiento de desechos sólidos en la ciudad de Salcedo, indicaron que: dicha planta tendría como finalidad aprovechar los desperdicios biodegradables y no biodegradables, así como generar fuentes de trabajo en especial para las personas que

viven en la comunidad de Jachaguango, donde se podrá dar solución a la causa principal que genera un problema ambiental y sanitario. [3]

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general:**

Diseñar el sistema de captación, las líneas de conducción, distribución y sistema de almacenaje del biogás, producido por el relleno sanitario del GAD SALCEDO.

### **1.2.2. Objetivos específicos:**

- Estimación promedio del Biogás.
- Estimar la presencia porcentual de metano en el Biogas producido por el relleno sanitario.
- Diseñar la captación, distribución y sistema de almacenamiento del Biogás.
- Realizar el análisis de factibilidad económica de la planta.

## **1.3. Justificación**

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) son generados de manera natural, siendo indispensables para el aseguramiento de la vida de los seres humanos, ya que estos ayudan a que el calor del sol no se disipe en al espacio, en donde los principales son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), los mismos que originan la existencia de la vida en el planeta, ya que emiten su vapor de manera directa hacia la atmósfera. [4]

Hoy en día, dado el impacto que tiene la actividad humana sobre el medio ambiente, la depredación de los recursos naturales y la preocupación consecuente que esta genera, frente a los efectos catastróficos que se van desarrollando, gran parte de todo esto provocado por los GEI, se ha visto la necesidad de reducir sus emisiones al ambiente.

Debido a la industrialización de los procesos de producción, la depredación de recursos fósiles, la tala indiscriminada, ciertos métodos de cultivo, así como los asentamientos humanos, entre otros, se han incrementado la presencia de Gases de Efecto Invernadero, tales como los indicados anteriormente; siendo el  $CO_2$  equivalente a la unidad de medición usada para señalar una posibilidad de calentamiento de cada uno de los GEI señalados, que se emite al ambiente. [5]

Teniendo presente que el gas que contamina a mayor escala es el óxido nitroso ( $NO_x$ ), después del  $CO_2$ , estimándose que en el año 2010, las emisiones de metano fueron de 6875 millones de toneladas métricas de  $CO_2$ , donde la importancia en reducir su presencia en el medio ambiente es esencial, con una reducción notable de su influencia en la generación de los fenómenos naturales indicados, por lo que la presencia de GEI en la atmósfera ha cambiado las pautas de temperatura y del sistema climatológico del planeta, en general amenazando incluso a la producción alimentaria, y contribuyendo al calentamiento global que provoca el derretimiento de los polos, que aumente el nivel del mar y las zonas habitables se reduzcan. [6]

Por lo cual surge la necesidad de evitar la liberación de metano ( $CH_4$ ) por el impacto que este tiene sobre el ambiente, también desde un punto de vista ecológico se promovería el desuso de combustión sin propósito de gases de relleno (Landfills gas), en el marco de optimización de recursos, en vez de esto, lo que se plantea es captarlo y darle un uso posterior.

Es por lo antes mencionado que se propone la captación de este gas (metano) a través de tomas o respiraderos, una línea de distribución que canalice el gas hacia un tanque de almacenamiento, que nos permita tener las condiciones adecuadas, para darle un uso posterior, todo esto sin un interés económico, más bien con fines medio ambientales y académicos, de esta manera el GAD de Salcedo, hace un aporte al cantón en la correcta gestión del su relleno sanitario, el presente proyecto se lo realizará en el marco del convenio de cooperación suscrito entre el GAD de Salcedo y la Universidad Técnica de Ambato así dispuesto en la RESOLUCION 0353-CU-P-2017, del proyecto denominado “ESTIMACION DEL POTENCIAL ENERGETICO MEDIANTE ANÁLISIS TERMOFÍSICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) DE

## LA CIUDAD DE SALCEDO Y LA DIGESTIÓN ANAEROBIA CON RADIACIÓN INFRAROJA”

El relleno sanitario de Salcedo está ubicado en San Pedro de Jachaguango a 4 Km de distancia del Parque Central de Salcedo, es uno de los pocos que se está levantado, acorde a los parámetros legales que demanda el Ministerio de Ambiente, entrando en funcionamiento el 16 de septiembre del 2009, con un área de 21.83 hectáreas, que garantiza una vida útil de 50 años

### **1.4. Fundamentación Teórica**

#### **1.4.1. Residuos**

Se conoce por residuo a todo producto en estado sólido, líquido o gaseoso, proveniente de una extracción, transformación o utilización; donde los residuos proceden de industrias, agrícolas, sanitarios, residuos sólidos urbanos; teniendo presente que por su peligrosidad se clasifica en tóxicos, radioactivos e inertes; teniendo como origen toda actividad humana, la misma que es potencialmente susceptible de producir residuos. [7]

##### **1.4.1.1. Residuos sólidos urbanos (RSU)**

Se definen como los “generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos, procedentes de la limpieza pública, zonas verdes, recreativas y playas; así como de los animales domésticos muertos, muebles, enseres y vehículos abandonados”. [7]

##### **1.4.1.2. Composición de los residuos sólidos urbanos**

Donde los residuos sólidos están compuestos de: vidrio como son los envases de cristal, papel, cartón, periódico, restos orgánicos, son restos de comida, jardinería, plásticos en forma de envase, textiles como ropa, metales como latas, restos de herramientas, madera en forma de mueble, aceites minerales procedentes de vehículos,

baterías, residuos de material electrónico, electrodomésticos de línea blanca, medicamentos, termómetros, lámparas fluorescentes. [7]

Especificándose que:

- **El vidrio**, “ha sido utilizado por el hombre para fabricar envases con que se conserva sus alimentos desde hace varios miles de años, donde se emplean como materias primas, arena, sosa y caliza, donde se funden en hornos a temperaturas de 1500°C.” [7]
- **El papel**, “es considerado como uno de los principales medios de transmisión de cultura y el saber, donde para su manufacturación se emplea madera, mediante un proceso químico al que se aporta grandes cantidades de agua, energía y productos químicos.” [7]
- **Plásticos**. Se trata de materiales que se utilizan ampliamente en todos los sectores industriales por su versatilidad, facilidad de fabricación, bajo coste, resistencia a los factores ambientales, transparencia, etc.; el cual se obtiene de la combinación de polímeros con aditivos y cargas con el objetivo de formar un nuevo material, compuesto de naturaleza orgánica, en donde en su composición intervienen fundamentalmente el Carbono y el Hidrógeno, además de otros elementos en menor proporción, como Oxígeno, Nitrógeno, Cloro, Azufre, Silicio, Fósforo, etc. [7]

En la actualidad existen tres grandes familias de polímeros como son:

- a) **Termoplásticos**, los cuales se caracterizan esencialmente por su ablandamiento ocasionado por el calor, mientras que cuando la temperatura baja estas vuelven a ser sólidas, entre los polímeros termoplásticos se encuentran, poliolefinas divididas en Polietileno de Baja Densidad, de Alta Densidad y el Polipropileno; así como el policloruro de vinilo, el poliestireno y el politereftalato de etileno. [7]

- b) **Termofijos**, no reblandecen ni fluyen por efectos del calor, llegando a descomponerse si la temperatura sube, los mismos que son: Resinas fenólicas, Amino-resinas, Resinas de poliéster, Resinas epoxi y Poliuretanos. [7]
- c) **Elastómeros**, que son aquellos que tienen sus cadenas enlazadas de modo covalente, entre ellos se encuentran: Caucho Natural, Caucho Sintético de Butadieno-estireno y los Cauchos de Cloropreno. [7]
- **Acero**, se caracteriza por su fácil conformación, ligereza, condición magnética, así como la facilidad de reciclado; produciéndose en alto horno, a partir de minerales de hierro y coque siderúrgico a altas temperaturas, sufriendo un proceso de decapado en baños de ácido caliente e intensos lavados con agua. [7]
  - **La materia orgánica**, se conforma de restos de alimentos, cocinados o no, y en menor proporción los residuos de jardinería, etc., así como la composición química, la cual es conocida como grasas, hidratos de carbono, proteínas, etc., donde se presenta una gran variación entre zonas urbanas y rurales, ya que en éstas últimas se suelen utilizar en la alimentación de algunos animales domésticos. [7]
  - **Otros residuos**, dentro de este grupo se encuentra la composición heterogénea y por la naturaleza de algunos de sus componentes, existen varios tipos entre los cuales se hallan, los alcalinos, carbono-zinc, litio, mercurio, cadmio-níquel, plata y zinc. [7]

#### **1.4.1.3. Clasificación del tipo de residuos generados en el cantón Salcedo**

La clasificación de los residuos sólidos en el cantón Salcedo, proporcionado por su respectivo GAD, indico que esta debería ser modificada, según la Tabla 1-1., de la siguiente manera:

**Tabla 1-1:** Clasificación de los residuos sólidos urbanos del cantón Salcedo

<b>Material</b>	<b>Especificación</b>
Papel	Libros, revistas, periódicos, papel de oficina, cuadernos, retazos de papel,
Cartón	Cajas, envases, tetra pack
Vidrio	Botellas, envases, cristales
Metal	Latas, chatarra
Plásticos	Botella, fundas, espuma flex
Misceláneos combustibles	Residuos sanitarios (pañales, toallas sanitarias), textiles, caucho.
Basura orgánica	Residuos alimenticios
Basura de jardinería	Excrementos de animales, residuo de podas y florícolas
Inertes	Cerámicas, residuos de construcción

Fuente: [1]

La determinación de la contribución de residuos que se puede aprovechar para la generación de biogás, según la Tabla 1-2., en el cantón Salcedo es de:

**Tabla 1-2:** Contribución porcentual de los tipos RSU del cantón Salcedo

<b>RSU</b>	<b>Contribución (%)</b>
Papel	6,76
Cartón	5,75
Vidrio	5,54
Metal	2,71
Plástico	13,86
Misceláneos	14,68
Basura orgánica	32,13
Basura jardín	17,87
Inertes	0,70

Fuente: [1]

## **1.4.2. Relleno sanitario**

Es la técnica que mejor se adapta a nuestra región para disponer de manera sanitaria las basuras, desde el punto de vista, tanto técnico como económico, eliminando los desechos sólidos en el suelo, sin causar peligro a la salud ni a la seguridad pública, perjudicando el ambiente durante su operación, utilizando principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeño posible, cubriéndola con capas de tierra y compactándola para reducir su volumen. [8]

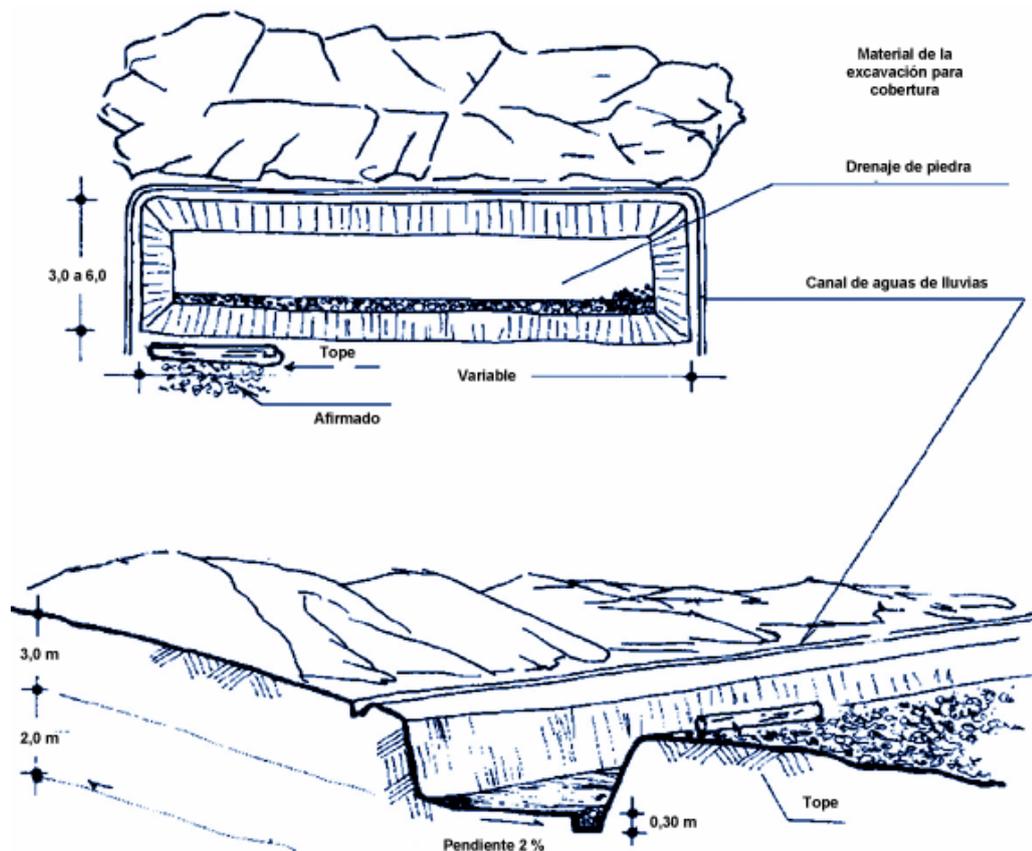
### **1.4.2.1. Métodos constructivos de un relleno sanitario**

El método de relleno constructivo está definido por la “TOPOGRAFIA, dependiendo además de la fuente del material de cobertura, así como de la profundidad del nivel freático”. [8]

Por lo que existen dos maneras distintas para construir un relleno sanitario, tal como se indica a continuación:

#### **Método de trinchera o zanja**

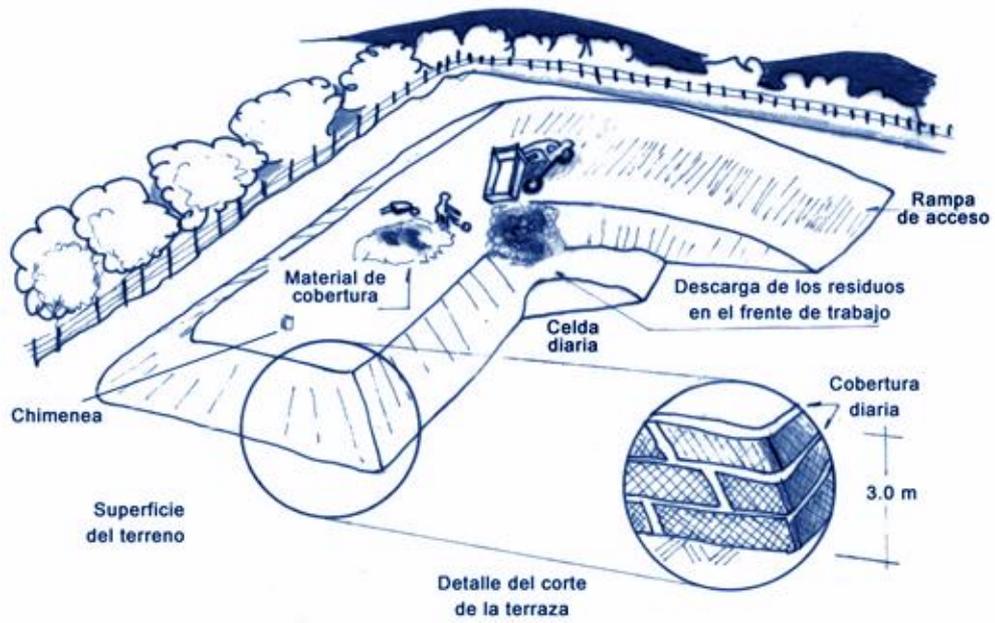
Este método, se usa en regiones planas, consistiendo en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad, donde la tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura; depositándose los desechos sólidos y acomodándose dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra; debiendo tenerse cuidado con las lluvias, dado que estas provocan que las zanjas se inunden, por lo que se recomienda construir canales perimetrales para captarlos y desviarlos proveyendo de drenajes internos, llegando a requerirse en algunos casos hasta el bombeo del agua acumulada, donde las zanjas deberán ser cortadas de acuerdo al ángulo de reposo. [8]



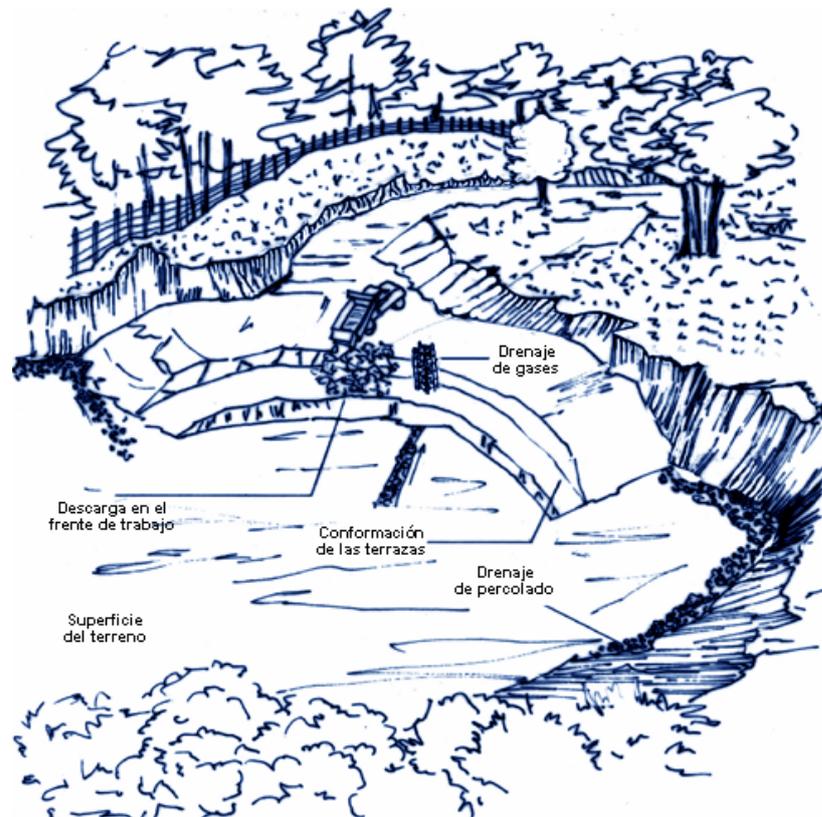
**Figura 1-1:** Método de construcción de relleno sanitario tipo trinchera. [8]

### **Método de área**

Este método se da en zonas planas, donde no es posible la excavación de fosas o trincheras para enterrar las basuras, pudiendo depositarse sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros; donde el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial, donde las fosas se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno tal como se indica en la Figura 1-2., se utiliza también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad, donde el material de cobertura se excava de las laderas del terreno, donde el relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural, vaciándose la basura en la base del talud, extendiéndose y apasionándose contra él, recubriéndose diariamente con una capa de tierra de 0.10 a 0.20 m de espesor, con una pendiente suave de 30 grados en el talud y de 1 a 2 grados en la superficie, tal como se indica en la Figura 1-3. [8]



**Figura 1-2:** Método de construcción de relleno sanitario tipo área. [8]

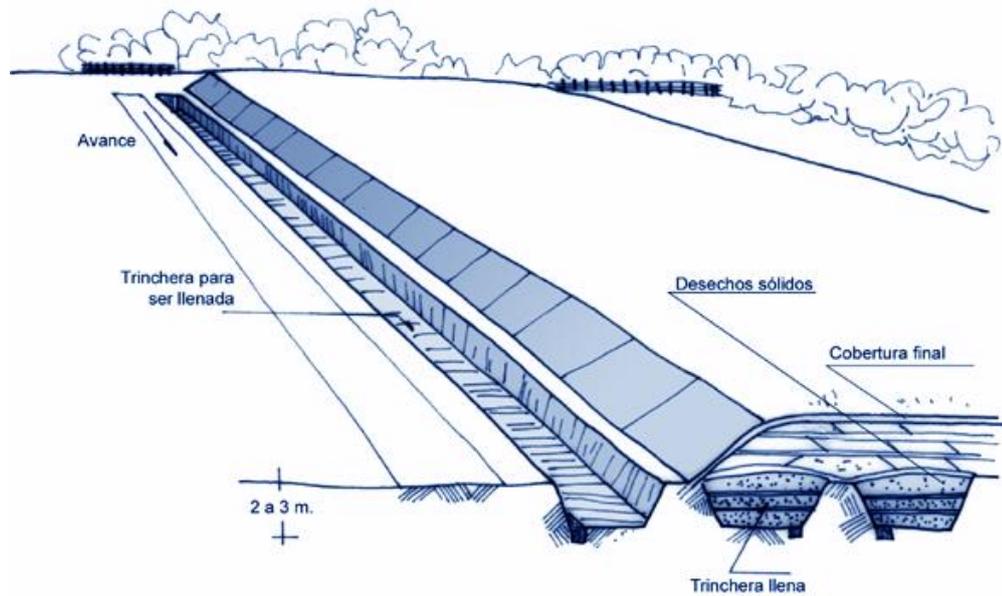


**Figura 1-3:** Método para rellenar depresiones tipo área. [8]

### Combinación de ambos métodos

Como se conoce que los métodos de trinchera o zanja y el de área, tal como se indica en la Figura 1-4, poseen técnicas de operación similares, pueden combinarse para

lograr un mejor aprovechamiento del suelo, del material de cobertura y rendimiento en la operación. [8]



**Figura 1-4:** Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario. [8]

### 1.4.3. Biogás

Es un gas compuesto que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por el 60 % de metano ( $\text{CH}_4$ ), el 39 % de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el 1 % de ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), con una temperatura de inflamación de  $700\text{ }^\circ\text{C}$ , alcanzando una llama de temperatura de  $870\text{ }^\circ\text{C}$ .; donde el biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas al biogás. Mezclas de biogás con aire, permitiendo que sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados, donde el relleno sanitario es considerado como biorreactor, en el que se generan gases, debido a la descomposición de la materia orgánica. [9]

Existen opciones que permiten mejorar la producción del biogás tales como:

- Mezcla con residuos de mayor producción potencial.
- Pre tratamiento para mejorar la degradabilidad del sustrato.

- Aumento de la temperatura para mejorar la velocidad de crecimiento de los microorganismos.

Los factores que influyen en la producción del biogás son:

- Temperatura, ya que se producen bacterias que trabajan en ambiente sin presencia de oxígeno, formando metano, por lo que se necesita un rango de temperatura que oscila entre 30 y 60°C para que trabajen estas bacterias, distinguiendo tres rangos de temperaturas, como son: el rango Psicofílico entre 10 y 20°C, el mesofílico de 30 a 40°C y el termofílico de 55 a 60°C. [10]
- El pH: “El pH (potencial hidrógeno) de un medio caracteriza la acidez (de 0 a 7) o la alcalinidad (de 7 a 14) de dicho medio, siendo un valor aceptable funcional de una planta de biogás de (7-8 Neutros)”. [10]
- Tiempo de retención: “Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica, donde la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura”. [10]
- La relación carbono/nitrógeno: “es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica, donde la cantidad y calidad del biogás dependerá de la composición del desecho utilizado”. [10]
- El porcentaje de sólidos: “Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida, la cual es conocida como sólidos totales”. [10]

#### **1.4.3.1. Fases de la generación del biogás**

Según López (2016), [11], las fases de la generación del biogás son:

**Fase I, Descomposición aeróbica**, la cual se da después del depósito de los residuos, desperdicios, etc.

**Fase II, Descomposición anóxica, no metanogénica**, se origina con los compuestos ácidos y gas hidrógeno, destruyendo las moléculas que forman pequeñas cadenas de amoníaco, dióxido de carbono, hidrógeno y agua.

**Fase III, Anaeróbica metanogénica inestable**, en esta fase se da el decrecimiento del dióxido de carbono, produciendo calor, agua y metano, donde se activan las bacterias durante el periodo.

**Fase IV, Anaeróbica metanogénica estable**, en esta etapa el gas metano se origina entre el 40% a 70% del volumen total.

**Fase V, Anaeróbica metanogénica en disminución**, en esta fase se da la creación del biogás significativamente debido a la escasez de nutrientes y por la degradación de sustratos disponibles.

#### **1.4.3.2. Ventajas del biogás**

Según José (2008), [12], las ventajas que posee el biogás son:

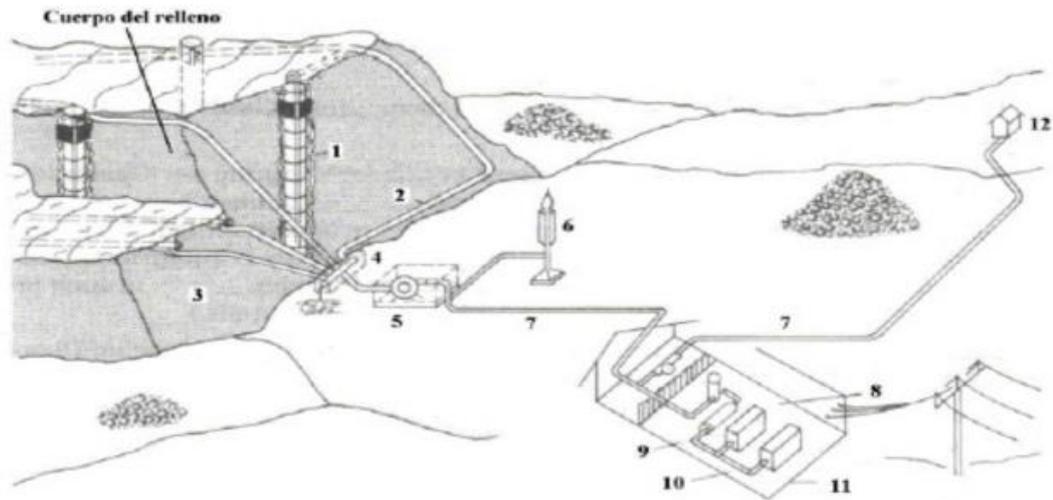
- La fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes y lo que trae beneficios al suelo con cualquier materia orgánica.
- Actúa como fuente de energía y nutrientes para el desarrollo de núcleos microbianos que mejoran la solubilidad de los compuestos minerales del suelo.
- Depuración ambiental y ecológica.
- Fertilizantes de gran calidad

#### **1.4.3.3. Extracción del biogás**

La extracción del Biogás se da por dos métodos de drenaje:

- 1. Drenaje activo**, se trata de “usar un soplador de aire, el cual, a través de tuberías, se conecta a un sistema de pozos de captación de biogás, el cual se instala dentro del relleno sanitario en donde la función del soplador en el pozo es generar vacío forzando la salida del biogás”. [13]

En la Figura 1-5., se presentan los elementos que conforman el drenaje activo, los mismos que son:



1	Chimenea	7	Tubería de transporte
2	Colector de gas	8	Consumidor 1
3	Drenaje de gas	9	Tratamiento del gas
4	Punto de colección	10	Conversión del gas en energía eléctrica
5	Punto de transporte de gas	11	Casa de turbinas
6	Antorcha	12	Consumidor 2

**Figura 1-5:** Sistema de drenaje activo. [13]

- **Colectores de gas:** “compuesto de los pozos de recolección y tuberías horizontales, que los conectan entre sí”. [13]
- **Puntos de recolección:** “es el lugar a donde se dirige el biogás aspirado de los pozos de recolección”. [13]
- **Separador de agua:** “a través del uso de un decantador, se condensa el agua y se separa del flujo del gas”. [13]
- **Tubo de aspiración de gas:** “se trata de un tubo que conduce los gases originados de los pozos de recolección al soplador”. [13]
- **Soplador:** “es el elemento el cual origina succión para extraer los gases del relleno y mediante la presión poder enviar los gases originados al incinerador”. [13]
- **Tubo de transporte:** “es el elemento que se utiliza para transportar los gases al incinerador”. [13]
- **Antorcha:** “es el elemento donde se origina la combustión del biogás”. [13]

- **Incinerador:** “es la unión del equipo de energía y del tratamiento del gas, así como la antorcha, entre otros”. [13]

## 2. Drenaje pasivo

El drenaje pasivo se divide en dos tipos:

- a) **Drenaje pasivo sin pozos de recolección,** este tipo de drenaje se utiliza, en rellenos sanitarios que ya no están operando, donde el biogás originado se mueve de manera horizontal, difundido por la capa de recubrimiento y taludes, generado por el gas mezclado con el aire atmosférico; el cual se debe usar solo en caso que el municipio donde se instala dicho relleno no posee recursos para construir una chimenea, la misma que se utiliza para evacuar los gases que no tienen ningún sistema de drenaje o si poseen una mala compactación. [13]

Los procedimientos que se utiliza en este tipo de drenajes son:

- Orificios utilizados como filtros biológicos, “los mismos que se generan en la capa de recubrimiento, llenado como composta”. [13]
  - Celdas con capa de recubrimiento de composta, se dan en rellenos sanitarios muy pequeños, donde se utiliza una capa de espesor de 50 cm, la cual sirve como filtro biológico, por la extensión del filtro, donde la carga de contaminantes por área es sumamente baja, asegurando una óptima eficiencia del filtro. [13]
- b) **Drenaje pasivo con pozos de recolección,** este estilo de drenaje aprovecha la difusión horizontal que se da de los gases en el interior de un relleno sanitario, elaborando y ubicando pozos de forma verticales, a lo largo del relleno, propagándose los gases generados hacia los pozos de recolección, los mismos que salen mediante ellos de forma controlada al exterior, incinerándose el biogás que emana el pozo, ya que estos pueden ser causantes de incendios de manera descontrolada. [13]

Por lo que se dan dos formas para construir los pozos de recolección los mismos que son:

- Pozos con malla y puntales de madera, para los cuales se construye una jaula con malla de acero con un diámetro mayor a 2 cm, con refuerzo de madera en sus esquinas verticales, colocándose además en el interior de dicha jaula grava o piedra bola, donde el diámetro recomendado de los pozos varía entre 0.5 y 1 m, con los puntales elaborados en madera. [13]
- Pozos de tubo perforado, para lo cual se realiza perforaciones en las paredes del tubo, donde dicha superficie total, debe ser hasta un 10% de la superficie total del tubo, colocándose finalmente piedra bola o grava, por lo que se recomienda que los pozos obtengan un diámetro de 0.6 m a 1.2 m y se elaboren con tubos de plástico de diámetro mayor a 2 cm. [13]

Se recomienda que la grava o piedra bola que se utilice no tenga cal, para evitar su descomposición fácilmente, con un diámetro menor de 16 cm. [13]

Se indica además que las distancias entre pozos creados deben ser de 25 a 30 m y en rellenos manuales de 20 a 25 m con una altura no mayor a 8 m, mientras que en rellenos compactados deben tener una altura no mayor a 15 m con una distancia entre pozos de 15 a 20 m. [13]

#### **1.4.3.4. Elementos característicos para la producción del biogás**

La extracción de biogás de un vertedero presenta muchos problemas específicos, ya que cada uno tiene unas características propias, tanto por su ubicación como por la composición de los residuos; donde se proceden a la perforación de una serie de pozos para la extracción del biogás a través de un sistema de líneas de polietileno de alta densidad, donde cada línea dispondrá de sistema de regulación del caudal en función de la composición y del consumo, del mismo para el funcionamiento del motor. [14]

#### **1.4.3.5. Instalación del sistema de extracción**

La instalación del sistema de extracción se compone de una serie de pasos, las cuales son:

- Construcción interior del pozo. El pozo se compone de una parte ranurada por donde se capta el biogás y otra ciega, en la zona cercana a la superficie, por donde no va a entrar el biogás, impidiendo de este modo su fuga y la entrada de oxígeno. [14]
- Instalación de la tubería de captación. “El material empleado para esta tubería suele ser de polietileno, con la parte inferior ranurada o perforada como mínimo un 8% de su superficie una parte ciega en lo más alto, introducida en el pozo”. [14]
- Relleno del espacio existente entre la tubería y la pared del pozo con material granular detrítico de 30-40 mm, donde esta debe ser de naturaleza calcárea, ya que la misma se disolvería por el conjunto del biogás-condesados-lixiviados. [14]
- Relleno de los últimos metros del pozo, donde la tubería es ciega, con bentonita, u otro material arcilloso que actúe de aislante evitando la entrada de oxígeno al pozo. [14]
- Material de separación entre la capa de relleno detrítica y la arcillosa (junta de plástico, caucho, etc) para impedir la entrada de oxígeno a los conductos de transporte del biogás. [14]
- Unión flexible entre el pozo y la tubería de transporte de biogás que admita los movimientos del propio vertedero con el paso del tiempo. [14]

#### **1.4.4. Diseño de los digestores**

Los digestores se pueden diseñar para la alimentación en:

- Lotes.
- Continua.

Los digestores en lotes, se utilizan comúnmente para una carga de materia prima que se sella y se deja que fermente, para que se produzca gas, el mismo que al terminarse se vacía el digestor y se vuelve a llenar con un nuevo lote de materias primas; estos

son ventajosos en vista que las disponibilidades de las materias primas son esporádicas ya que estas requieren poca atención. [15]

En el caso de los digestores de carga continua, se agrega cada día una pequeña cantidad de materia prima, donde el índice de producción, tanto de gas como de sedimentos, es más o menos continuo y digno de confianza, ya que estas consisten en un suministro regular de desechos fácilmente digeribles, procedentes de fuentes, tales como estiércol de animales, plantas marinas, vegetación, o algas de estanques de producción. [15]

Los digestores de alimentación continua pueden ser:

- De mezcla vertical
- Desplazamiento.

Los digestores de mezcla vertical consisten en cámaras verticales a las que se agregan materias primas, donde los sedimentos digeridos pueden sacarse directamente por tuberías de efluentes. [15]

Los digestores de desplazamiento radican en un cilindro alargado acostado paralelamente al suelo, donde las materias primas se ven sometidos a un movimiento de bombeo vertical, teniendo presente que desde un punto de vista práctico, son más difíciles de manejar, acumulándose eventualmente suficiente espuma y partículas sólidas no digeridas, procediéndose a un lavado periódico, en vista que la acumulación de espuma reduce el desplazamiento. [15]

#### **1.4.4.1. Tipos de digestores**

Los tipos de digestores son:

- **Digestor tipo chino**

Estos digestores consisten de:

Una entrada recta para alimentación sin atoros, así como una salida a la altura media del tanque principal, donde huevos y parásitos conjuntamente con sólidos no digeribles

se depositen en el fondo; además constan de una cubierta removible, sumergida en agua para detectar fugas, un tanque principal de paredes circulares con techo y fondo cónico, que cumple la función de fermentación y cámara de gas, donde cuando el gas es producido el nivel del líquido en el tanque será forzado a bajar, mientras que en la salida subirá, variando la presión del gas, la cual se lee en un manómetro conectado a la salida, donde la construcción de este tipo de digestores se realiza mediante técnicas de construcción de albañilería, con ladrillos o bloques prefabricados. [16]

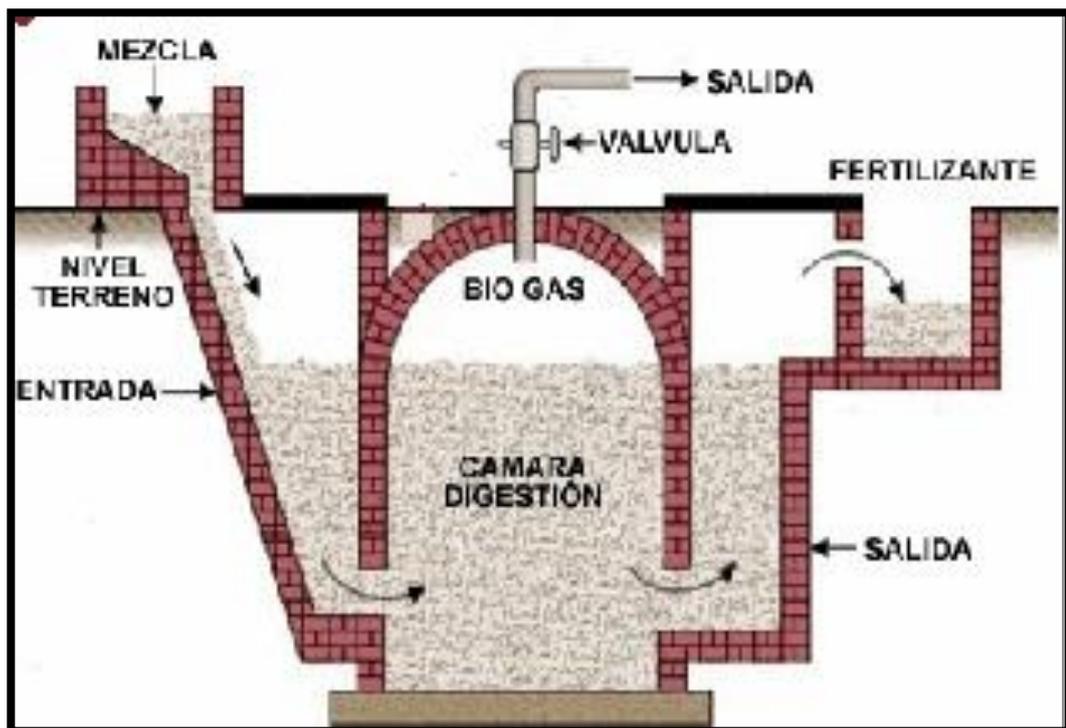
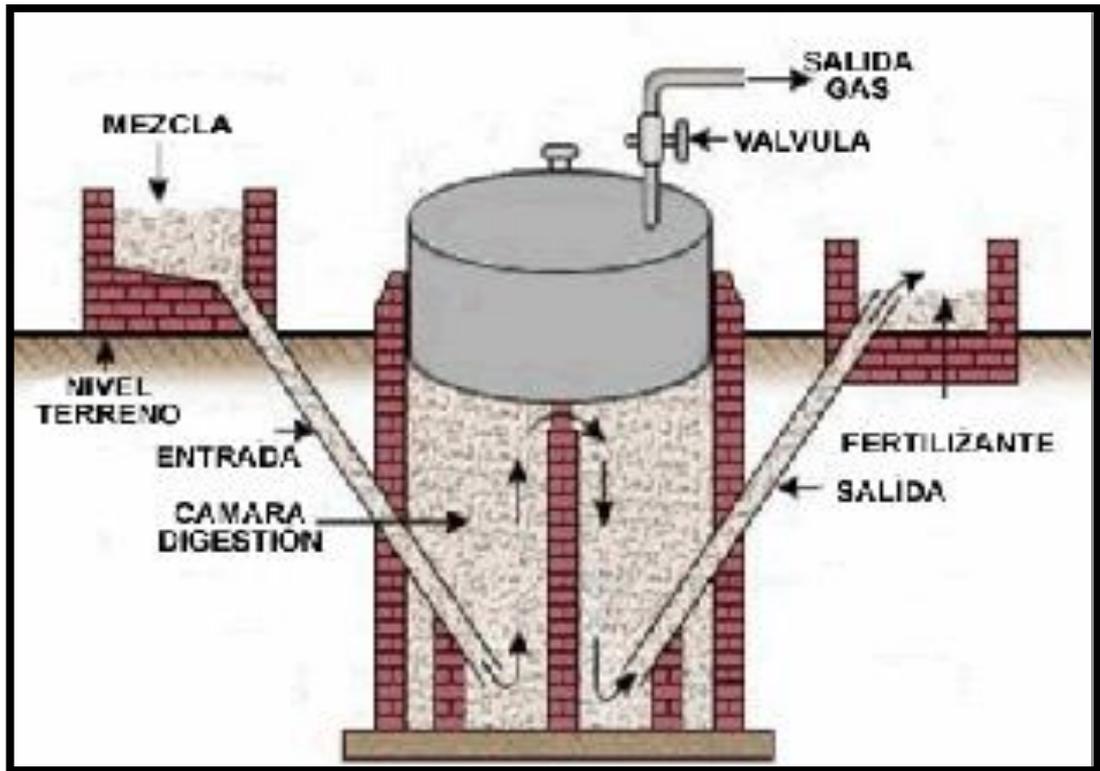


Figura 1-6: Digestor tipo chino. [16]

- **Digestor tipo hindú**

Este tipo de digestor, está compuesto de una pileta de carga conectada al fondo por un conducto y una pared central, la cual determina el movimiento de la materia orgánica desde la iniciación de la digestión hasta que el consumo de la parte volátil de dicha materia, descargándose por otro ducto que sale desde el fondo al otro lado de la división central, captándose el gas en un recipiente o campana en la parte superior del digestor, balanceado con contrapesas. [16]



**Figura 1-7:** Digestor tipo hindú. [16]

Donde su operación, es de alimentación periódica, diaria no necesitando ninguna atención, por lo que la captación del biogás es efectuada en un gasómetro flotante, el cual es el techo del propio digestor, mostrándose el volumen del biogás en base a la altura del gasómetro, teniendo una presión suficiente para alimentar a la mayoría de los aparatos deseados. [16]

#### **1.4.5. Sistema de conducción**

El sistema de conducción consiste en la construcción de una red de tuberías para transportar el biogás desde los pozos de captación hasta la planta de extracción. [17]

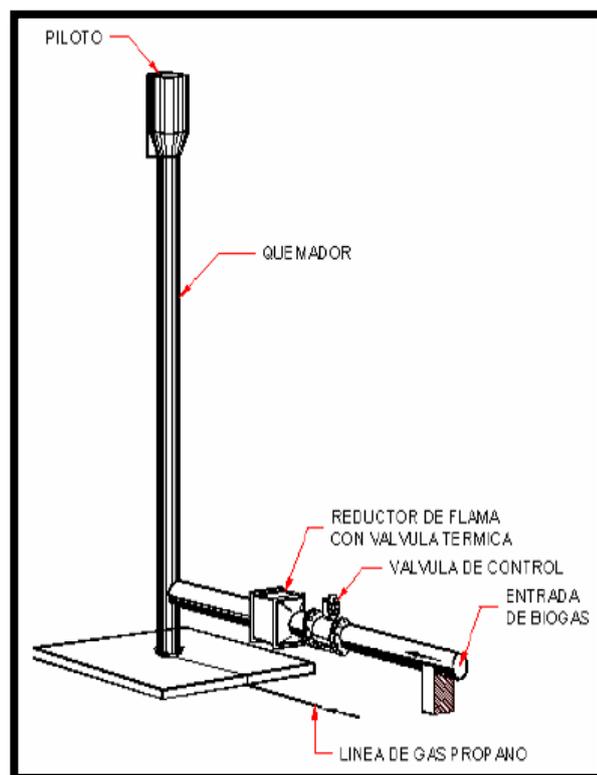
El sistema de conducción incluye: tubería de diámetro de 4, 6, 8, 10, 12, 14, y 18 pulgadas, subcabezales, cabezales que transportan el biogás hasta la planta de extracción, teniendo en cuenta que los arreglos de la red de tuberías deberán facilitar el drenado de los líquidos para el manejo de condensados; las líneas de cabezales, así como las laterales constituyen el sistema de conducción, el cual es transportado posteriormente hasta los sistemas de tratamiento. [17]



**Figura 1-8:** Sistema de tuberías de conducción conectadas. [17]

#### 1.4.6. Sistema de quemado

El sistema de quemado tiene el propósito de disponer de los excedentes del biogás que se utilizan para su aprovechamiento en la planta de generación de energía, donde el biogás captado en los rellenos sanitarios que no es utilizado o aprovechado, generalmente es quemado, considerándose a los quemadores de biogás, en la planta de extracción de biogás. [17]



**Figura 1-9:** Quemador abierto. [17]

### 1.4.7. Sistema de limpieza

Se debe tener conocimiento que el biogás contiene metano, bióxido de carbono, trazas de ácido sulfhídrico e hidrocarburos clorados, el cual es extraído de rellenos, donde el resultado de los análisis de monitoreos debe determinar las concentraciones de ácido sulfhídrico presentes en la mezcla; por lo que el sistema de tratamiento del biogás debe incluir la remoción de humedad y de partículas. [17]

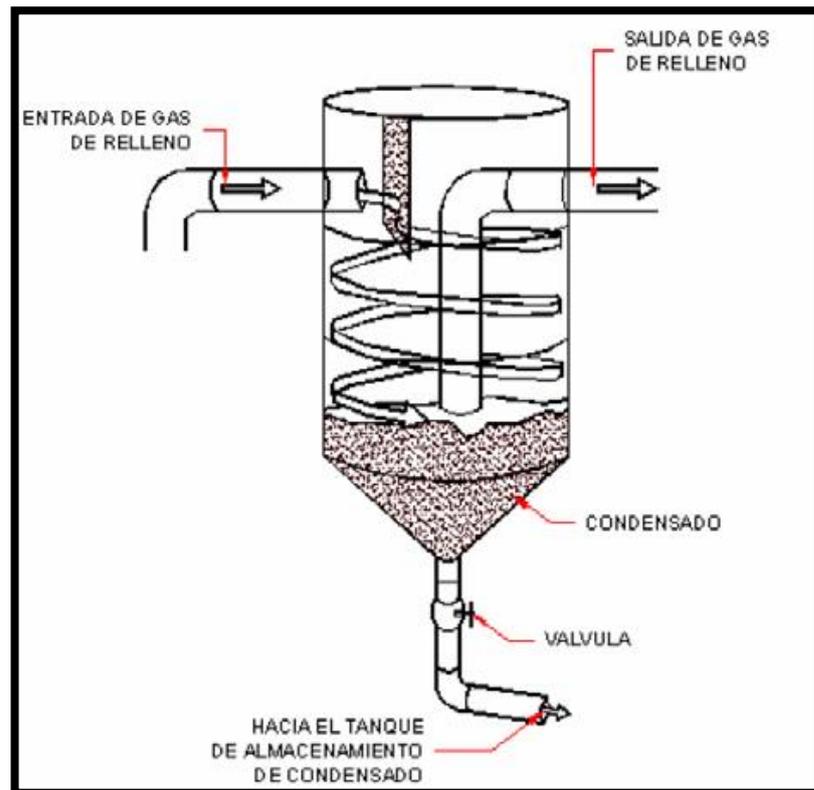


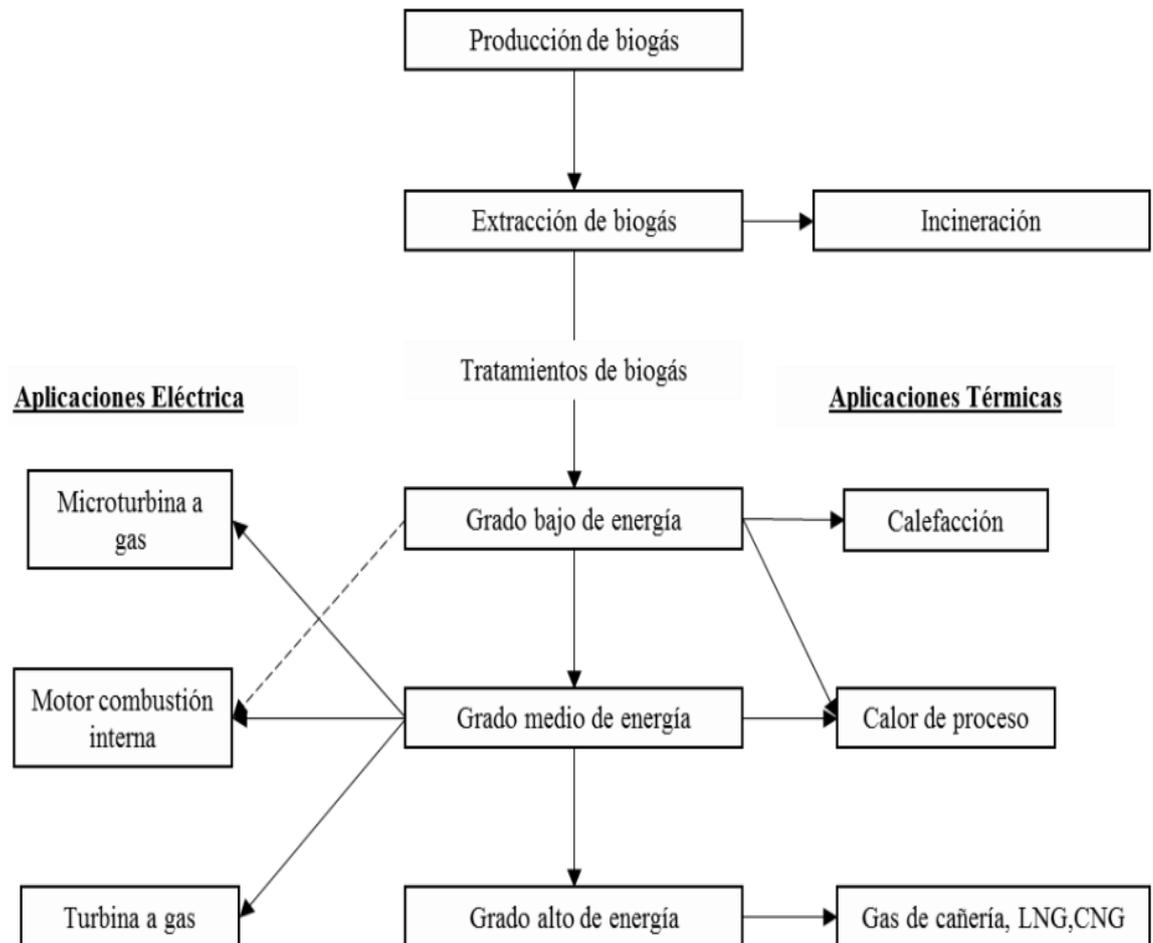
Figura 1-10: Separador de humedad. [17]

### 1.4.8. Uso de biogás en rellenos sanitarios

Según Gonzáles (2015), [18] el objetivo del aprovechamiento del biogás generado en un relleno sanitario es convertir en energía útil, empleándose en:

- Proyectos de generación y cogeneración de electricidad, observándose las aplicaciones en la Figura 1-11.

- Proyectos de uso directo para utilizar en calderas, secadores, hornos u otros equipos térmicos, observándose las aplicaciones en la Figura 1-11.
- Proyectos de conversión de biogás a un gas de alto BTU, observándose las aplicaciones en la Figura 1-11.



**Figura 1-11:** Aplicaciones del uso del biogás. [21]

En la Tabla 1-3, se indica el número de instalaciones en el mundo, donde se aprovecha el biogás originados de rellenos sanitarios.

**Tabla 1-3:** Aplicaciones del biogás en el mundo

<b>Descripción de Instalaciones</b>	<b>Cantidad</b>
Celdas de combustibles	1
Combustibles para automóviles	2
Microturbinas	4
Ciclo combinado	7
Turbina de Vapor	11
Comercialización de gas alto en BTU	13
Hornos	14
Evaporación de lixiviados	17
Turbinas a gas	39
Cogeneración	187
Uso directo en calor	277
Motor a gas	581

**Fuente:** [19]

Dependiendo el nivel de tratamiento al que se somete el biogás, este se clasifica en:

- **Bajo grado de energía**, “en vista que se somete a tratamiento primarios de remoción de condensado, disminuyendo la humedad y filtrando las partículas”. [18]
- **Medio grado de energía**, “incluye tratamientos secundarios de compresión y refrigeración, removiendo componentes originados por trazas de sulfuro, siloxanos y compuestos orgánicos volátiles”. [18]

- **Grado alto de energía**, “consiste en la separación del dióxido de carbono y otros gases originados, del gas metano, removiendo impurezas, comprimiendo y deshidratando el biogás”. [18]

#### 1.4.9. Situación actual del de relleno sanitario del GAD de Salcedo

El relleno sanitario está ubicado en San Pedro de Jachaguango a 4 Km de distancia del parque Central de Salcedo tal como se indica en la Figura 1-12, el mismo que está siendo diseñado para que los desechos sólidos sean depositados de forma ordenada.

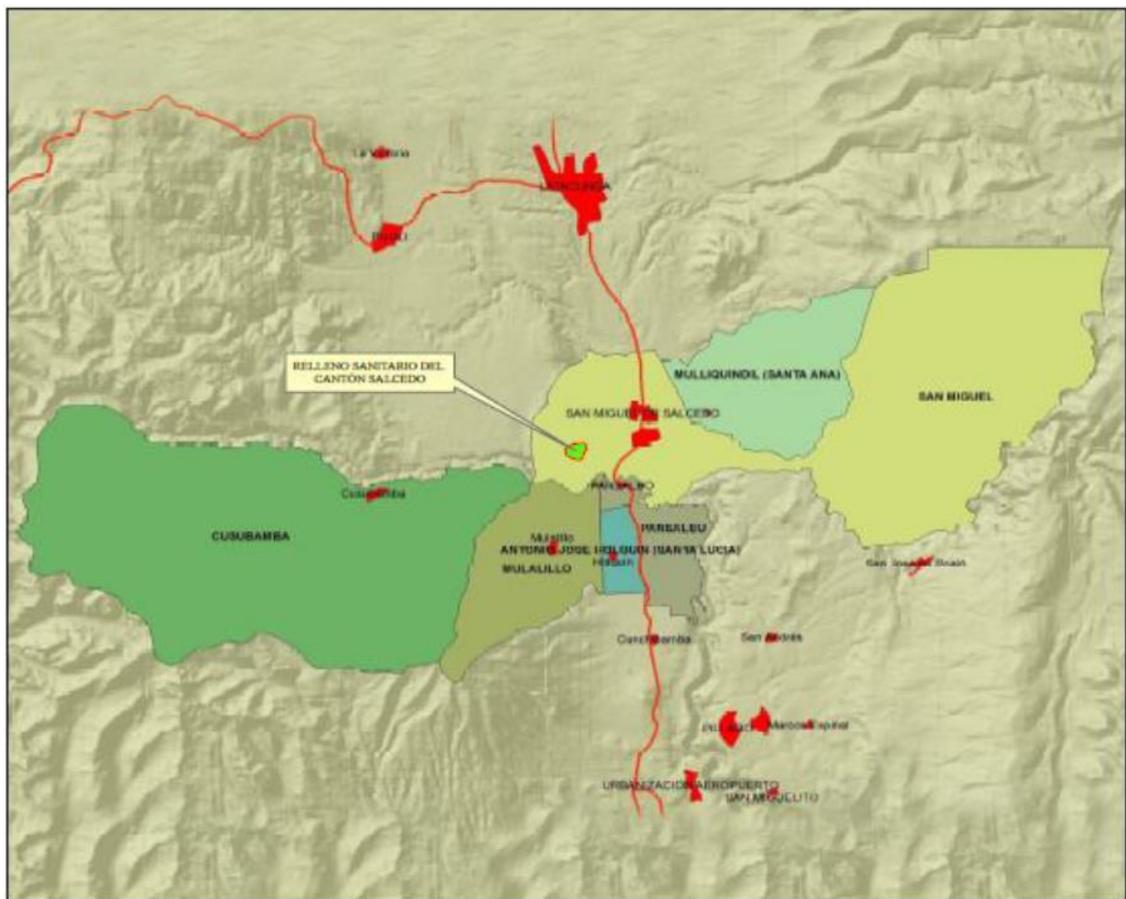


Figura 1-12: Mapa de ubicación del relleno sanitario Jachaguango. [2]

#### 1.4.10. Aspecto demográfico

“Es el estudio interdisciplinario de las poblaciones humanas, en donde se trata las características sociales de la población a través del tiempo, refiriéndose al análisis de la población por edades, situación familiar, grupos étnicos, etc.” [20]

Por lo que, para la ejecución del proyecto, como aspecto demográfico, es esencial tener conocimiento en Salcedo, el número de habitantes, los mismos que se dan en la Tabla 1-4.

**Tabla 1-4:** Distribución de la población, por sexo y parroquias en el cantón Salcedo.

SALCEDO	Parroquia	Hombre	Mujer	Total
	Antonio José Holguín	1.256	1.408	2.664
	Cusubamba	3.490	3.710	7.200
	Mulalillo	2.982	3.397	6.379
	Mulliquindil (Santa Ana)	3.516	3.687	7.203
	Pansaleo	1.586	1.869	3.455
	San miguel	15.050	16.265	31.315
	<b>Total</b>	<b>27.880</b>	<b>30.336</b>	<b>58.216</b>

Fuente: [20]

#### 1.4.11. Aspectos económicos

“Los aspectos económicos acaparan la inflación, niveles de empleo y desempleo, entre otras, que influyen de manera directa en el proyecto correspondiente en la Tabla 1-5 y 1-6.” [21]

**Tabla 1-5: Inflación**

Mes	Índice	Inflación Mensual	Inflación Anual	Inflación Acumulada
sep-18	105,50	0,39%	0,23%	0,47%
oct-18	105,45	-0,05%	0,33%	0,42%
nov-18	105,18	-0,25%	0,35%	0,17%
dic-18	105,28	0,10%	0,27%	0,27%
ene-19	105,77	0,47%	0,54%	0,47%
feb-19	105,53	-0,23%	0,16%	0,24%
mar-19	105,31	-0,21%	-0,12%	0,02%
abr-19	105,49	0,17%	0,19%	0,19%
may-19	105,48	-0,004%	0,37%	0,19%
jun-19	105,45	-0,04%	0,61%	0,15%
jul-19	105,54	0,09%	0,71%	0,25%
ago-19	105,43	-0,10%	0,33%	0,14%
<b>sep-19</b>	<b>105,42</b>	<b>-0,01%</b>	<b>-0,07%</b>	<b>0,13%</b>

Fuente: [22]

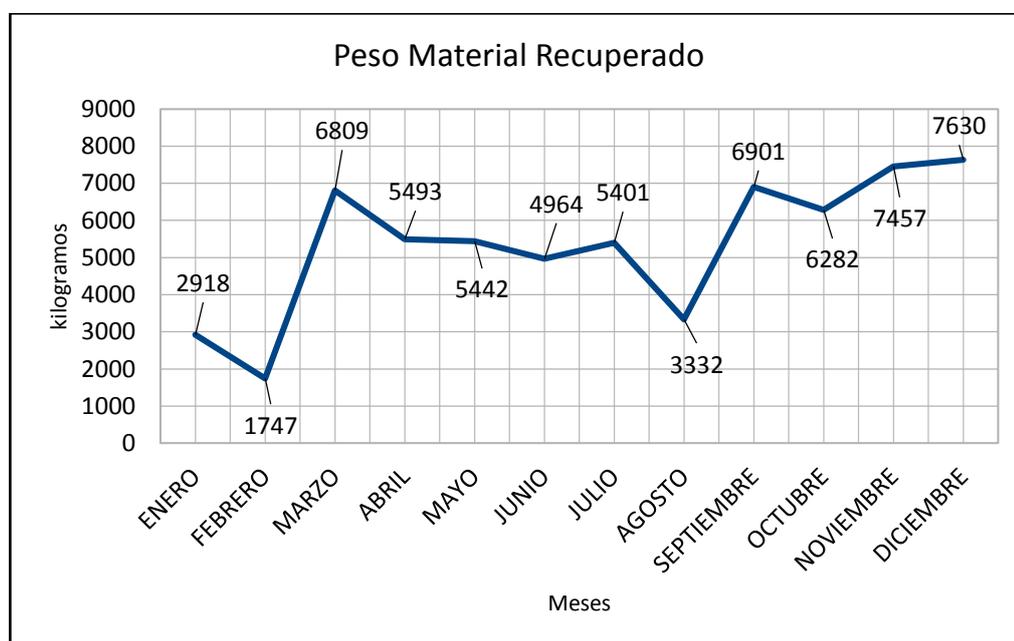
**Tabla 1-6:** Tasa de empleo, desempleo y subempleo

Indicadores Nacionales (en % respecto a la PEA)	mar-19	jun-19	sep-19
Tasa de participación global	66,5	66,8	67,8
Tasa de empleo adecuado	37,9	37,9	38,5
Tasa de subempleo	18,7	20,3	19,7
Tasa de desempleo	4,6	4,4	4,9

Fuente: [21]

#### 1.4.12. Proyección de residuos sólidos urbanos

A continuación, en la Tabla 1-13, se detallan los residuos sólidos urbanos que ingresan a disposición final en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango, según datos proporcionados por la Dirección de Gestión Ambiental, mientras que en la Figura 1-7 se detalla de mesa tras mes, como está el material recuperado.



**Figura 1-13:** Peso de residuos sólidos recuperado. [23]

**Tabla 1-7:** Residuos sólidos urbanos durante el Año 2018

<b>Meses</b>	<b>Pesaje de RSU, que ingresan al relleno sanitario año 2018 (Kg)</b>	<b>Material recuperado año 2018. (Kg)</b>	<b>RSU con disposición para rellenos sanitarios (Kg)</b>
Enero	709 755	2 918	706 837
Febrero	585 730	1 747	583 983
Marzo	748 948	6 809	742 139
Abril	702 815	5 493	697 322
Mayo	754 334	5 442	748 892
Junio	720 827	4 964	715 863
Julio	708 840	5 401	703 439
Agosto	738 717	3 332	735 385
Septiembre	645 505	6 901	638 604
Octubre	759 074	6 282	752 792
Noviembre	687 452,27	7 457	679 995,27
Diciembre	718 646	7 630	711 016
<b>TOTAL</b>	<b>8 480 643,27</b>	<b>64 376</b>	<b>8 416 267,27</b>

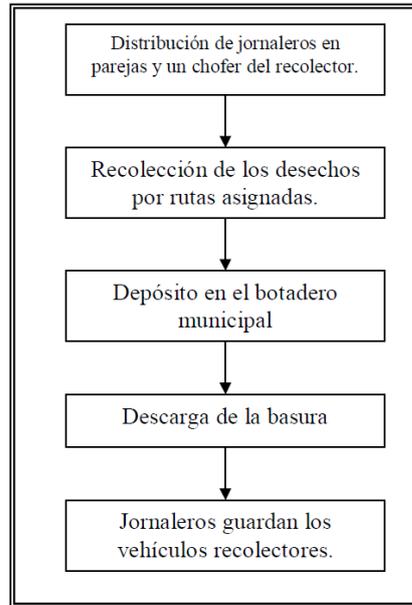
Fuente: [23]

Dentro del material recuperado en el Año 2018, se encuentra:

- Pet Cola

- Cartón
- Plástico
- Chatarra
- PVC
- Papel
- Manguera
- Aluminio
- Bronce
- Cobre
- Botas de Caucho
- Lata
- Aerosol
- Vidrio
- Tetrapac
- Zapatilla
- Soplado
- Cubeta de huevos

Según Naranjo & Sunta (2007), en la Figura 1-14, el Departamento de Higiene Ambiental de Salcedo, maneja el siguiente proceso de recolección de los desechos sólidos en el Cantón Salcedo, el mismo que es:



**Figura 1-14:** Proceso de recolección de desechos sólidos. [3]

El tipo de residuos sólidos determina la contribución, existentes en el cantón Salcedo, evidenciando que se da un 63% de biomasa, la misma que está dividida en basura de jardín el 18%, basura orgánica el 32%, mientras que el resto de residuos representa el 47%, donde sobre sale el plástico. [1]

## **CAPÍTULO II**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Materiales.**

Los materiales útiles son:

- Tuberías de PVC
- Planchas de acero
- Mecanismo por Membranas
- Soplador
- Pernos
- Tuercas
- Codos
- Tees

#### **2.2 Métodos**

##### **2.2.1 Selección de alternativas del sistema de extracción**

Se evalúa minuciosamente cada alternativa valorando características técnicas como económicas.

##### **2.2.1.1 Matriz morfológica**

Es la comparación de las soluciones, la misma que se trata de una técnica para generar varias ideas, con sus respectivas características o atributos, presentando varias opciones, representadas en la Tabla 2-1.

##### **2.2.1.2 Análisis de alternativas**

Lo primordial en el diseño, es la generación de soluciones que se dan a través de diversas ideas, contempladas en una matriz morfológica, en base a parámetros deseados o estipulados propuestos.

**Tabla 2-1: Matriz morfológica**

ALTERNATIVAS	Características			
	Sistemas de control	Pozos de colección	Tipos de quema	Materiales de conductos
ALTERNATIVA 1	Activo	<p>Pozo vertical con Extracción Activa</p>	Quema con recuperación de energía	Tubería de acero y PVC
ALTERNATIVA 2	Pasivo	<p>Pozo vertical con Extracción Pasiva</p>	Quema sin recuperación de energía, antorcha abiertas	Tubería de acero y PVC
ALTERNATIVA 3	Activo	<p>Pozo vertical con Extracción Activa</p>	Quema sin recuperación de energía, antorcha cerrada	Tubería de acero y PVC

Fuente: El autor

Especificaciones de la Tabla 2-1:

### Sistemas de control

**Activo:** Es el método en que se utilizan componentes similares a los pozos de extracción de agua como son tuberías y grava alrededor.

**Pasivo:** Es el método al igual que el activo es similar a los pozos de extracción de agua, el cual debe ventilar bien, mediante tuberías construida de PVC o polietileno.

### Tipos de quema

- **Quema sin recuperación de energía:** Esta alternativa involucra la quema directa en una antorcha, reduciendo las emisiones de metano a la atmósfera, tal como indica el procedimiento en la Figura 2-1.

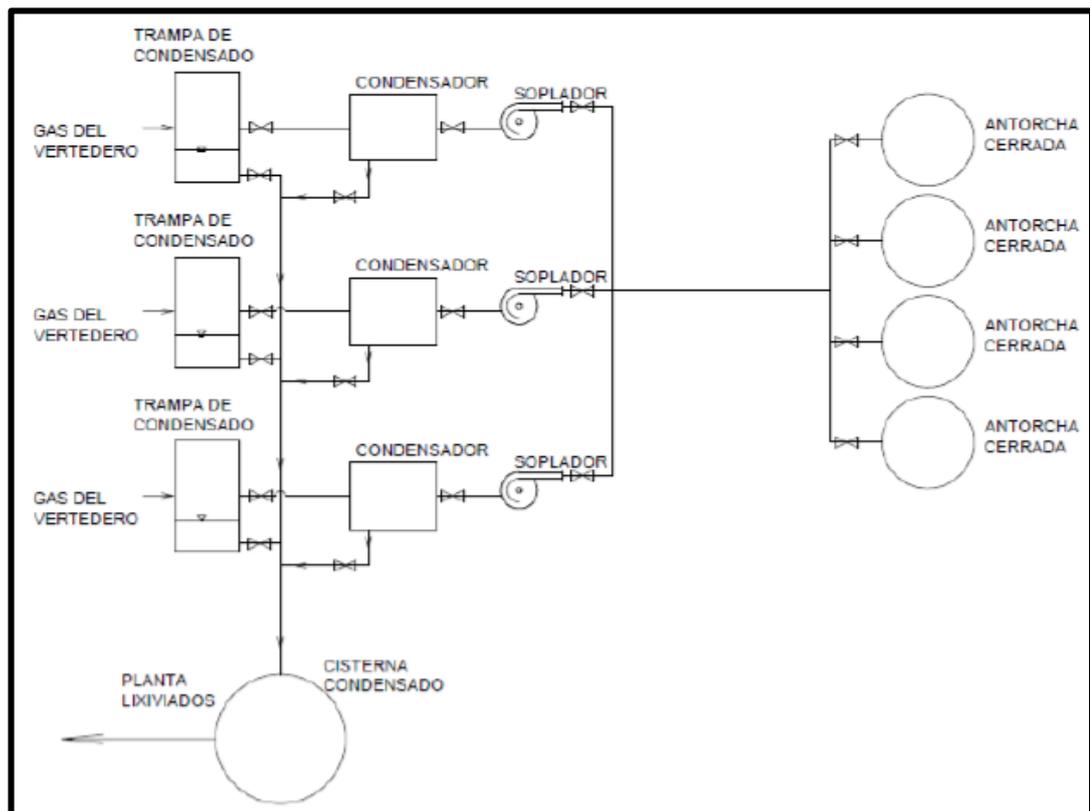
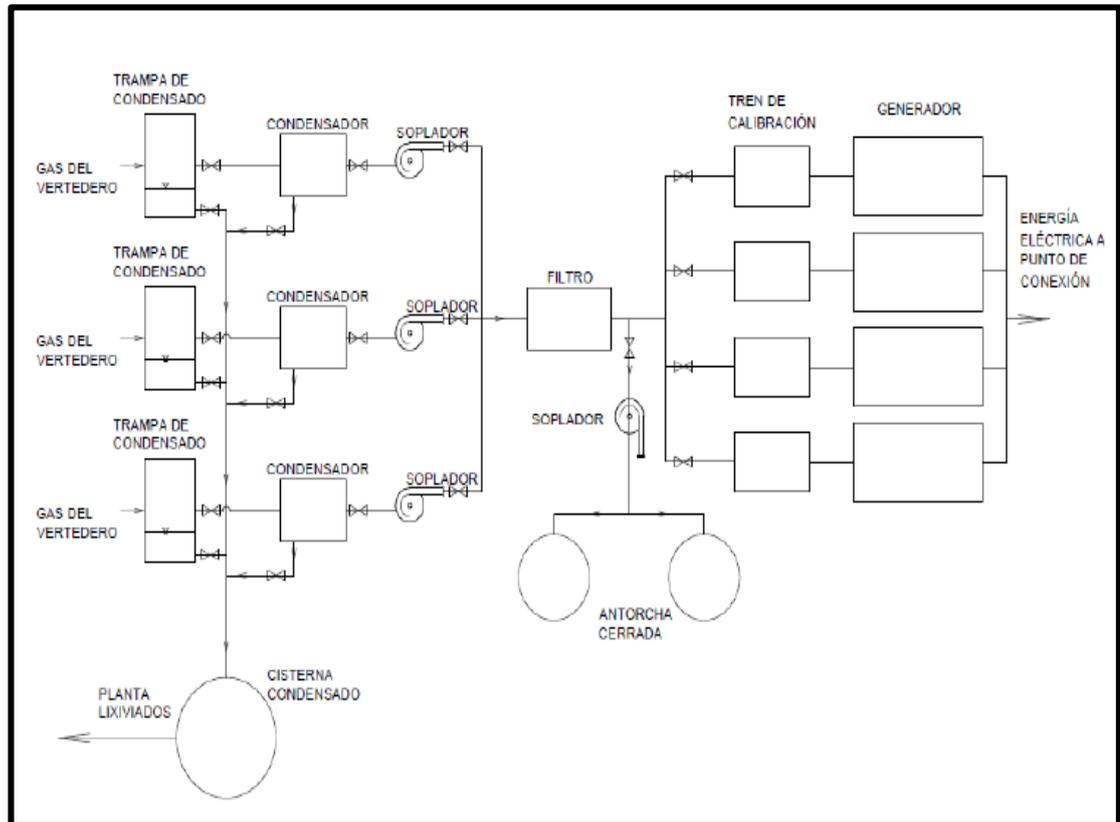


Figura 2-1: Alternativa de quema sin recuperación de energía. [17]

- **Quema con recuperación de energía:** Son diseños complejos en el que involucran monitoreo de caudal y calidad de biogás que ingresan a los generadores,

empleándose filtros que ayuden a la derivación del gas a dichos generadores por un lado y en el otro lado hacia las antorchas, tal como se indica en la Figura 2-2.



**Figura 2-2:** Alternativa de quema con recuperación de energía. [17]

Las posibles soluciones que se dan son:

**La alternativa 1:** Tendrá la disposición de sistema de control activo, utiliza sopladores, para extraer el biogás de forma forzada, donde el gas se capta en pozos de extracción vertical, similares a los de monitoreo de agua subterránea, teniendo en cuenta que, dentro de las consideraciones sobre diseño, donde se recupera la energía, con las instalaciones que puedan disponer de generadores eléctricos, donde su tubería será de acero.

Se debe tener presente que este sistema requiere de mayores recaudos en el monitoreo de caudal de la calidad de biogás, donde se presenta una mayor complejidad de las instalaciones para disponer de generadores eléctricos, por ende, sus costos son más altos, en comparación con los anteriores.

**La alternativa 2:** En esta alternativa, el sistema de control es pasiva, debe ser construida de PVC o polietileno de alta densidad, colocadas en el centro del pozo, donde el sistema a utilizar, debe ser similar al de un sistema de ventilación, donde la quema será sin recuperación de energía utilizada de manera directa con antorcha abiertas, en vista que estas son utilizadas para el tratamiento de gases, permitiendo en la mayoría la eliminación hasta del 98% de los hidrocarburos contenidos en el gas, teniendo como ventaja su simple diseño, así como la facilidad en construcción e instalación, por ende son más económicos y se adaptan en todo tipo de terrenos, reduciendo las emisiones de metano a la atmosfera contribuyendo con la reducción de gases.

**La alternativa 3:** Finalmente la tercera alternativa, especifica, que dispondrá al igual que la primera alternativa, de un sistema de control activo, donde se utiliza sopladores, para extraer el biogás de forma forzada, captando al gas en pozos de extracción, donde le método de construcción y componentes son parecidos a los pozos de extracción de agua, donde la quema se da sin recuperación de energía que se disponga de una antorcha directamente cerrada, donde se puede ocultar la llama provocada, disminuyendo el impacto visual, donde se usan diseños con pilotos automáticos y eléctricos, lo que representa un costo más elevado, para esta alternativa se usarían tuberías de acero.

### **2.2.1.3 Evaluación de alternativas**

Una vez planteadas las propuestas según sus alternativas, estas serán sometidas a una Evaluación de tipo Económica, tal como se detalla, a continuación.

### **2.2.1.4 Evaluación Económica**

Para la evaluación económica, se asignará, para cada alternativa un valor de:

1: Inaccesible, resulta económicamente costoso.

2: Accesible, quiere decir que tiene un costo mediamente aceptable.

3: Asequible, se refiere a que su costo es bajo, es un antónimo de inaccesible, ya que representa lo contrario a lo dicho en esa definición.

Teniendo en cuenta que el factor de importancia será dividido en:

1: Significativo, quiere decir que dicha opción tiene un grado de importancia bajo.

2: Muy significativo, se refiere a que posee un grado de importancia medio.

3: Necesario, concluye que su importancia es alta.

Por lo que a continuación en la tabla 2-3, se presenta el valor definido y ponderado, referente al valor económico.

Los costos fijados por las industrias, son los ubicados en la tabla 2-2:

**Tabla 2-2:** Definiciones económicas

<b>Factor de Importancia</b>	<b>Puntos de Evaluación</b>	<b>Accesibles</b>	<b>Inaccesibles</b>	<b>Asequible</b>
Muy significativo	Coste del mantenimiento del sistema	0.06 \$ / hora	0.06 \$ >	0.06 \$ <
Muy significativo	Coste de operación del sistema	0.45 \$/hora	0.45 \$/ hora >	0.45 \$ / hora <
Necesario	Coste de materiales directos	10000 – 11000 \$	11000 \$ >	11000 \$ <
Necesario	Coste de manufacturación	Hasta 2000 \$	2000 \$ >	2000 \$ <

**Fuente:** El Autor

**Tabla 2-3:** Valoración económica

Puntos de Evaluación	Factor de Importancia (Fi)	Puntaje (P)			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Puntaje Ideal
Coste del mantenimiento del sistema	2	2	2	2	3
Coste de operación del sistema	2	2	3	2	3
Coste de materiales directos	3	2	3	2	3
Coste de manufacturación	3	2	3	3	3
<b>Total = <math>\sum(Fi \times P)</math></b>		<b>20</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>30</b>
<b>Coefficiente económico =</b>		<b>66,7 %</b>	<b>93,3%</b>	<b>76,7 %</b>	<b>100%</b>

Fuente: El Autor

Dada la evaluación económica, las alternativas propuestas serán sometidas a una evaluación técnica, como se muestra en la Tabla 2-5, a continuación.

### 2.2.1.5 Evaluación Técnica

Para la evaluación técnica, a continuación, se designa, para cada alternativa un valor de:

1: Malo, porque técnicamente el punto a evaluar tiene una condición negativa.

2: Bueno, se refiere a que el punto a evaluar es aceptable.

3: Muy Bueno, quiere decir que el punto de evaluación es muy aceptable o se puede lograr realizar alguna determinada operación de manera fácil o sencilla.

Teniendo en cuenta que el factor de importancia al igual que en la evaluación anterior, esta será dividido en:

1: Significativo, quiere decir que dicha opción tiene un grado de importancia bajo.

2: Muy significativo, se refiere a que posee un grado de importancia medio.

3: Necesario, concluye que su importancia es alta.

Por lo que a continuación se presenta el valor definido y ponderado, referente al valor económico, en la tabla 2-5.

Las definiciones técnicas son los ubicados en la tabla 2-4:

**Tabla 2-4:** Definiciones técnicas

<b>Factor de Importancia</b>	<b>Puntos de Evaluación</b>	<b>Bueno</b>	<b>Malo</b>	<b>Muy bueno</b>
Necesario	Material de Adquisición	PVC - Acero	PVC - Acero	PVC
Necesario	Facilidad de Fabricación	Fáciles de Construir	Difíciles de Construir	Muy fáciles de construir
Necesario	Facilidad de Operación del Sistema	Fáciles de Operar	Difíciles de Operar	Muy fáciles de operar
Muy significativo	Facilidad de Mantenimiento	Mantenimientos sencillos	Mantenimientos complejos	Mantenimientos muy sencillos
Muy significativo	Materiales Resistentes	Durables	Poco durables	Muy durables

**Fuente:** El Autor

**Tabla 2-5:** Valoración técnica

Puntos de Evaluación	Factor de Importancia (Fi)	Puntaje (P)			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Puntaje Ideal
Materiales de Fácil Adquisición	3	2	2	3	3
Facilidad de Fabricación	3	2	3	2	3
Facilidad de operación del sistema	3	3	3	2	3
Facilidad del Mantenimiento	2	2	2	2	3
Materiales Resistente	2	3	3	3	3
<b>Total = <math>\sum(Fi \times P)</math></b>		<b>31</b>	<b>34</b>	<b>31</b>	<b>39</b>
<b>Coefficiente Económico =</b>		<b>79,5%</b>	<b>87,2%</b>	<b>79,5%</b>	<b>100%</b>

Fuente: El Autor

### 2.2.1.6 Definición de cada criterio

**Coste:** Este criterio es uno de los más importantes, en vista que representa el valor monetario, representados en los materiales, manufacturación, operación y mantenimiento del sistema planteado, maximizando su confiabilidad y eficiencia.

**Material de fácil adquisición:** Este ítem a evaluar es muy necesario, ya que el mismo se refiere a la fácil adquisición del material, accesorios e instrumentos a conseguir en el Mercado Local y Nacional.

**Facilidad de fabricación:** Este ítem en cambio se trata de que el grado de dificultad en su fabricación, no es grande.

**Facilidad de operación:** Se trata de la puesta en funcionamiento de la planta de forma sencilla y segura.

**Facilidad de mantenimiento:** Trata del mantenimiento sencillo que se da al sistema a instalar, tratando de demorar el menor tiempo posible de su reparación o cambio de piezas solicitadas.

**Materiales resistentes:** Son materiales que tienen una buena resistencia a la corrosión, que presenta buenas propiedades mecánicas, siendo estos durables en base al tiempo, con parámetros estipulados.

#### **2.2.1.7 Elección de la alternativa**

La alternativa a elegir, será la que obtenga los mejores coeficientes a nivel económico y técnico.

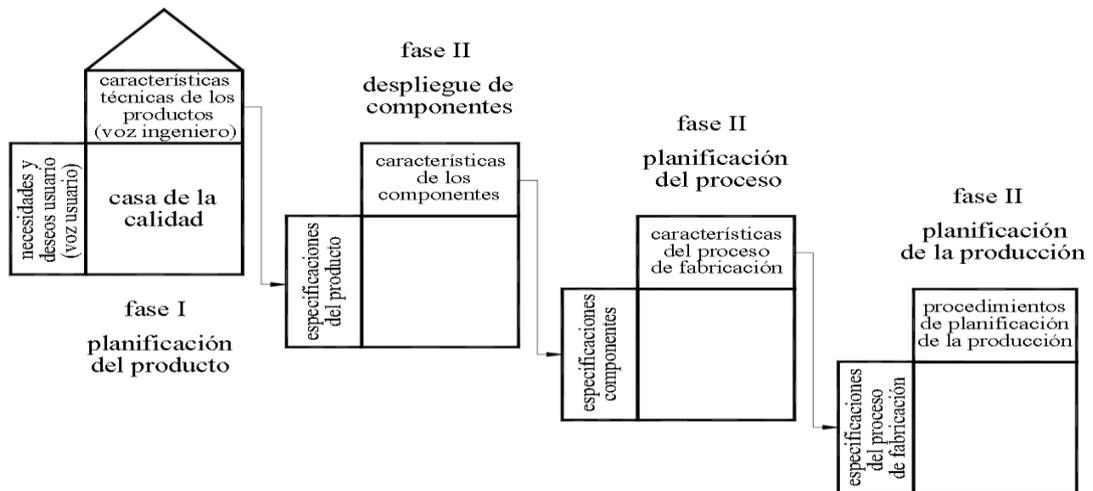
En base al análisis detallado, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Opción 1:** A nivel económico posee un coeficiente del 66.7%, logrando 20 puntos, en tanto que el aspecto técnico contempla un coeficiente de 79.5% alcanzando 31 puntos.
- **Opción 2:** En el aspecto económico con 28 puntos logrados de 30 a disposición, obtuvo un coeficiente de 93.3%; mientras que, en el aspecto técnico, se logró 31 puntos de 39 con un coeficiente logrado de 87.2%
- **Opción 3:** Esta opción a nivel económico tuvo un puntaje de 23 puntos logrado con un porcentaje de 76.7%, en tanto que a nivel técnico se obtuvo 31 puntos como en la primera opción con un porcentaje igual conseguido del 79.5%.

En base a estas opciones, ponderaciones y deducciones, se opta como mejor alternativa la **Opción 2**, la misma que es mejor a nivel Económico y Técnico.

### 2.2.2 Estructura de la fase de diseño

Riba (2002), [24], detalla que Yoji Akao, conceptualizó el desarrollo de la función de calidad (QFD) como una serie de matrices para guiar el proceso en cada fase del desarrollo de un determinado producto, como la planificación del producto, el despliegue de componentes, la planificación del proceso y de la producción, tal como se indica en la Figura 2-3, indicando que es un método globalizador cuyo objetivo general es asegurar que se tiene en cuenta la voz del usuario y del técnico, mediante una técnica gráfica para definir la relación entre los deseos del cliente y el producto o servicio.



**Figura 2-3:** Esquema del desarrollo de la función de calidad (QFD) [24, p. 178]

### 2.2.3 Casa de la calidad

Según Riba (2002), [24], dice que la calidad a través del diseño, establece la ingeniería concurrente que incorpora la consideración de los requerimientos, desde el diseño, donde:

- Asegura que el producto, responda a los requerimientos y necesidades solicitadas de los usuarios.
- Establece criterios, parámetros y tolerancias de un producto, para una correcta manufacturación, con un determinado y definido funcionamiento.

- c) Concibe los productos para que los procedimientos de manufacturación y montaje faciliten una producción sin errores.
- d) Asegura que el producto o servicio funcione sin fallos, durante su utilización, teniendo presente su correcto mantenimiento y reparación.

Se debe tener en cuenta siempre, como objetivos la calidad, para posteriormente poder corregir su fabricación, comercialización y utilización, si fuera necesario.

La casa de la calidad, tal como se detalla en la Figura 18, transforma las demandas de los clientes en requerimientos técnicos, para lo cual se debe tener en cuenta 6 pasos, los cuales son:

### **Paso 1 y 2, usuario y análisis de competitividad**

Según las consideraciones sugeridas por el usuario, el sistema debe tener las siguientes características, las cuales son:

- Los materiales y accesorios a utilizar, deben de ser de fácil adquisición en el mercado nacional.
- Los costos de los materiales, deben ser aceptables, encontrándose al alcance de los usuarios.
- Los materiales y productos de construcción a usar en el sistema deben ser durables.
- Los costos de manufacturación o fabricación de los implementos y accesorios deben ser durables.
- Los materiales deben ser muy resistentes, aptos ante cualquier tipo de presión o ataque.
- Deben presentar una buena resistencia a la corrosión, definida como el deterioro de un material a causas de un ataque químico
- Finalmente, el sistema a desarrollar, debe ser de fácil limpieza, para el usuario.

### **Paso 3, 4, 5 y 6, correlaciones, comparación técnica y compromisos técnicos.**

De acuerdo a las consideraciones que se deberían tomar en cuenta por parte del Ingeniero son las siguientes:

- Se selecciona tipo de materiales, conforme a los requerimientos del usuario, y al diseño.
- La capacidad de producción del biogás, que se genera, es un factor muy importante, a tomarse en cuenta para proceder al diseño del producto.
- El sistema de captación, es muy importante, en vista que permite captar los gases a baja presión en pozos.
- Estimación del biogás, generado en el relleno sanitario de San Pedro de Jachaguango del cantón Salcedo.
- La extracción condensada del biogás, es un tema muy importante a tomar en cuenta, para proceder al diseño del sistema solicitado.
- Ubicación del relleno sanitario, el cual es un método diseñado para la disposición final de la basura.
- Equipos auxiliares, son equipos a tener en cuenta durante la instalación del sistema.
- Se debe tener presente que el metano es el componente principal del biogás, el cual es incoloro, inodoro, cuya combustión genera una llama azul.
- El dióxido de carbono en el biogás, es otro factor muy importante a tener presente, ya que al igual que el metano, este es inodoro e incoloro, el cual se desprende en las combustiones.
- Confiabilidad del sistema, es muy importante a tener en cuenta, en el diseño conceptual, a desarrollar.

### **2.2.3.1 Parámetros en la matriz**

Parámetro importante a tener en cuenta en el análisis es: índice de mejora, objetivos, importancia, factor de venta, incidencia, así como la ponderación.

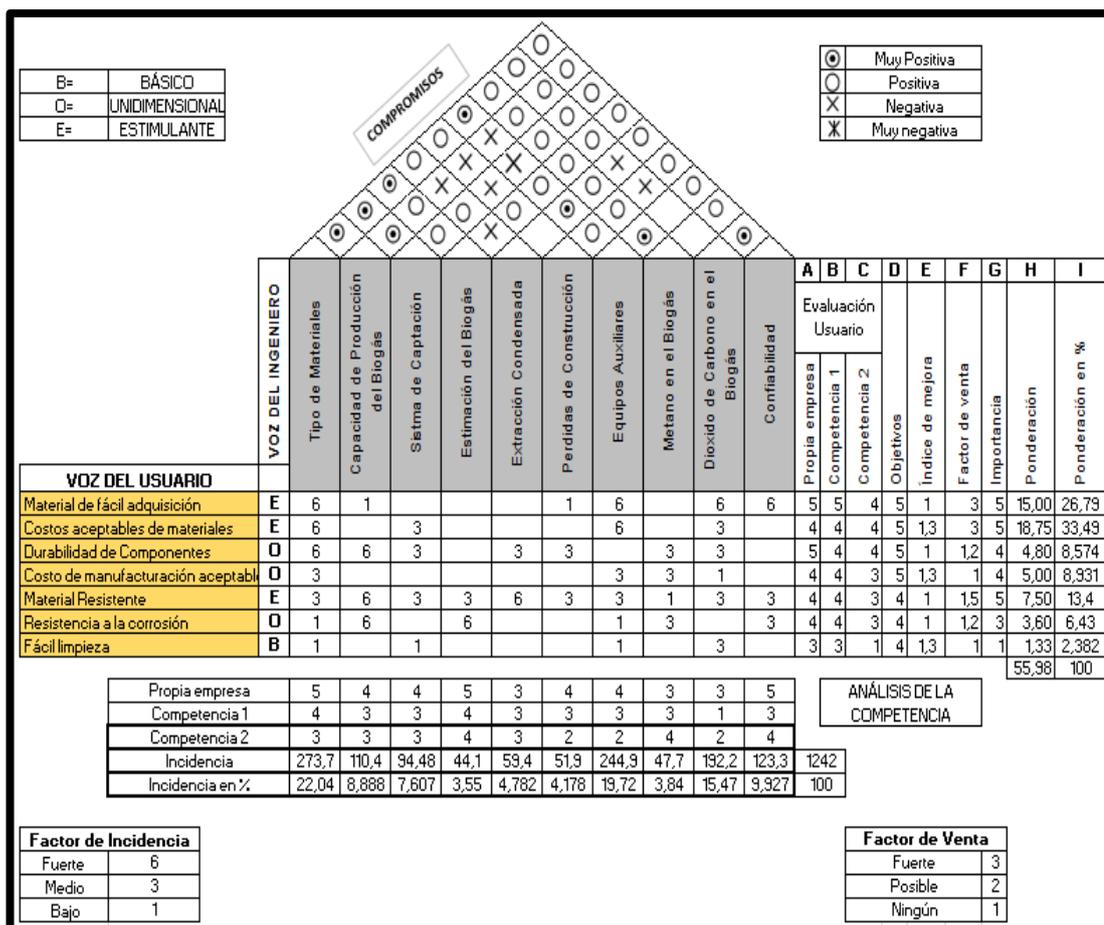


Figura 2-4: Casa de la calidad. [24]

Riba (2002), [24], recomienda usar una metodología en diseño concurrente, organizados mediante módulos funcionales, constructivos, planteados por la casa de la calidad, donde:

- Evaluar las respuestas de la Columna A, del 1 al 5, en base al cumplimiento del producto de la empresa propia.
- Valorar las respuestas de las Columnas B y C, del 1 al 5, en base al cumplimiento del producto de la competencia.
- Evaluar los resultados de la Columna D, del 1 al 5, en base a los objetivos fijados en el nivel deseado.
- Valorar la Columna G, del 1 al 5, en función de la importancia a partir de las respuestas brindadas por los usuarios.

- El índice de mejora, situado en la columna E, se da de la función  $E = D/A$ , la cual se da de la evaluación de la propia empresa con los objetivos planteados.
- El factor de Venta, situado en la columna F, están divididos en:
  - a) Fuerte, con un factor, 3, que quiere decir que incide de manera notable en el diseño.
  - b) Posible, con un factor, 2, se trata de que posiblemente influya en el diseño concurrente.
  - c) Ningún, con un factor, 1, se refiere que no influye en la metodología de calidad utilizada.
- La ponderación señalada en la columna H se da de la multiplicación entre las columnas E, F y G.
- La ponderación porcentual situados en la columna I, se del porcentaje emitido sobre el total de las demandas.
- El factor de incidencia se da en términos:
  - a) Fuertes, con un valor de 6, el cual indica que este incide de manera alta entre los detalles del ingeniero y el cliente.
  - b) Medio, con un valor de 3, especifica el grado de incidencia entre los requisitos de ingeniero y el cliente de manera leve.
  - c) Baja, con un valor designado de 1, que quiere decir que el grado de incidencia es mínimo que no afecta al cliente ni al ingeniero.
- Los símbolos divididos en positivos, muy positivos, negativos y muy negativos, son usados para indicar las incidencias e influencias, que se da, entre los diferentes criterios ingenieriles ofertados.

### **2.2.3.2 Conclusión de la matriz QFD.**

Una vez finalizado el análisis de la matriz, se procede a indicar que los lineamientos más importantes a cumplir son:

- Tipo de material
- Componentes durables
- Material resistente
- Estimación del biogás
- Sistema de captación
- Confiabilidad

El modelo de diseño, incluye una metodología que permita estimar la generación del biogás y con esto dimensionar el sistema de captación, así como de tuberías, para mayor aprovechamiento energético, donde se detalla:

- Caracterización del relleno sanitario.
- Estimación de producción del biogás.
- Diseño del sistema de captación y tuberías.

### **2.2.4 Caracterización del relleno sanitario**

La caracterización del relleno sanitario se procede de la siguiente manera:

Inicialmente se debe tener presente que el biogás este combinado por el metano y dióxido de carbono como gases principales, así como el nitrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno, amoniaco, hidrógeno, monóxido de carbono y constituyentes de cantidades de traza como gases secundarios, tal como se indican en la Tabla 2-6, a continuación.

**Tabla 2-6:** Componentes del biogás

Componente		Porcentaje (%)
Descripción	Formula	
Metano	$CH_4$	45 a 60
Dióxido de carbono	$CO_2$	40 a 60
Nitrógeno	$N_2$	2 a 5
Oxígeno	$O_2$	0.1 a 10
Sulfuro de hidrógeno	$H_2S$	0 a 1.0
Amoniaco	$NH_3$	0.1 a 1.0
Hidrógeno	$H_2$	0 a 0.2
Monóxido de carbono	$CO$	0 a 0.2
Constituyentes en cantidades traza		0.01 a 0.6

Fuente: [25]

La densidad de los gases principales según Cengel y Michael, [26], son:

$$\text{Metano} = CH_4 = 423 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = CO_2 = 298 \text{ kg/m}^3$$

## 2.2.5 Estimación promedio del biogás

### 2.2.5.1 Modelo mexicano

La estimación promedio del biogás se da en base a la siguiente ecuación utilizada para rellenos sanitarios dados por el modelo mexicano, [27], con las siguientes variables.

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kLo \left[ \frac{Mi}{10} \right] (e^{-ktij}) (MCF)(F)$$

Ecuación 2-1

Donde:

- $Q_{LFG}$  = Flujo de biogás esperado ( $\frac{m^3}{año}$ )
- $i = j$  = Incremento en tiempos = 0.1 año, es el mínimo recomendado por el Modelo. [28]
- $n$  = Año del cálculo – Año inicial de disposición de residuos
- $k$  = Índice de generación de metano (1/año)
- $Lo$  = Generación potencial de metano ( $\frac{m^3}{Ton}$ )
- $Mi$  = Masa de residuos dispuestos en el año  $i$  (Ton.)
- $t_{ij}$  = Edad de la sección  $j$  de la masa de residuos  $Mi$  dispuestos en el año  $i$  (años decimales)
- $MCF$  = Factor de corrección para el metano
- $F$  = Factor de ajuste por incendios

Para lo cual se debe tener conocer que:

$$n = 2019 - 2009 = 10 \text{ años}$$

Se debe tener presente que Salcedo se halla en la región interandina del país, de la provincia de Cotopaxi, por lo que según el INAMHI, [29], tiene una precipitación normal anual de 548,4 mm/año, por lo que en base a la tabla 2-8 y 2-7, se escogen valores de  $k = 0.065$  y  $Lo = 84$

**Tabla 2-7:** Índice de generación de metano, según la precipitación anual

<b>Precipitación Anual (mm/año)</b>	<b>k (por Año)</b>
0 - 249	0.040
250 – 499	0.050
500 - 999	0.065
> 1000	0.080

Fuente: [30]

**Tabla 2-8:** Índice de generación potencial de metano, según la precipitación anual

<b>Precipitación Anual (mm/año)</b>	<b>Lo (m3/Ton)</b>
0 - 249	60
250 – 499	80
> 500	84

Fuente: [30]

La masa de Residuos dispuestos en el año según el INAMHI es: 8 480 643,27 Kg = 8480.64 Toneladas.

El Valor de CMF, que vamos a utilizar es de 0.8, lo que significa que se halla a una profundidad mayor a 5 m, con condiciones desconocidas, respecto al tratamiento de la biomasa, tal como se detalla en la tabla 2-9.

**Tabla 2-9:** Factor de corrección de metano

Manejo del Sitio	Profundidad	Profundidad
	< 5m	≥ 5m
Sin Manejo	0.40	0.80
Con Manejo	0.80	1.00
Semi – aerobio	0.40	0.50
Condición Desconocida	0.40	0.80

Fuente: [27]

Teniendo en cuenta que el relleno sanitario del GAD de Salcedo no ha sufrido ningún tipo de incendios, el factor de ajuste F es de 1.

Una vez definido todos los parámetros se procede a determinar el flujo promedio del biogás, de la siguiente manera, donde:

$$Q_{LFG} = 2 * 0.065 \left( \frac{1}{\text{año}} \right) * 84 \left( \frac{m^3}{\text{ton}} \right) * \left( \frac{8480.64 \text{ Ton}}{10} \right) * (e^{-0.065 * 0.1 * 0.1 * 10})$$

$$* 0.8 * 1 = 7360.7 \frac{m^3}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ horas}} = 0.84 \frac{m^3}{\text{hora}}$$

Como conclusión según la metodología considerada del modelo mexicano, en el relleno sanitario se tiene que el biogás generado es de  $0.84 \frac{m^3}{\text{hora}}$ .

### 2.2.5.2 Modelación de producción del biogás de Ecuador, según la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA)

La modelación de producción del biogás de Ecuador, preparada por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA), utiliza una ecuación de descomposición de primer orden en un periodo determinado de un año, como es la siguiente. [31]

$$Q_m = \sum_{t=1}^n 2 * k * L_o * M * e^{-kt} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

- $Q_m$  = Flujo de biogás  $\left(\frac{m^3}{año}\right)$
- $k$  = Índice de generación de metano (1/año)
- $L_0$  = Generación potencial de metano  $\left(\frac{m^3}{Ton}\right)$
- $M$  = Cantidad anual de residuos destinados al Relleno Sanitario = 8 480.64 Toneladas.

Se debe tener presente que Salcedo se halla en la región interandina del país, de la provincia de Cotopaxi, por lo que, según el INAMHI, [29], tiene una precipitación normal anual de 548,4 mm/año, por lo que en base a la tabla 2-10, se escogen valores de  $k = 0.065$  y  $L_0 = 84$ .

**Tabla 2-10:** Entradas de modelo

Precipitation (mm/yr)	k Medium Food Waste =<50%	k High Food Waste =>60%	$L_0$ ( $m^3$ / metric tonne) Medium Food Waste =<50%	$L_0$ ( $m^3$ / metric tonne) High Food Waste =>60%
0-249	0,04	0,043	60	62
250-499	0,05	0,053	80	83
500-999	0,065	0,69	84	87
1000 - 1999 or Saturated	0,08	0,085	84	87
2000+ or Saturated	0,08	0,085	84	87

Fuente: [31]

$$n = 2019 - 2009 = 10 \text{ años}$$

Por lo que el Modelo de degradación dado nos da como resultado:

$$\begin{aligned}
 Q_m &= 2 * 0.065 \left(\frac{1}{año}\right) * 84 \left(\frac{m^3}{ton}\right) * (8480.64 \text{ Ton}) * (e^{-0.065*10}) \\
 &= 48346 \frac{m^3}{año} * \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ horas}} = 5.5 \frac{m^3}{horas}
 \end{aligned}$$

### 2.2.5.3 Conclusión

Según un estudio realizado en la ciudad de Ambato, se tiene que, de un Relleno Sanitario, donde se había depositado alrededor de 8137 Toneladas métricas de

Residuos, se tiene estimado producirse  $8 \frac{m^3}{horas}$  de biogás, por lo que en comparación con el Flujo de Biogás Esperado en la ciudad de Salcedo se concluye que el mas propicio es el de  $5.5 \frac{m^3}{horas}$ , por ser una ciudad con características similares a la de Ambato, tal como se indica en la tabla 2-11. [32]

**Tabla 2-11:** Proyección de generación y recuperación de biogás

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS								
RELLENO SANITARIO ZONA ALTA CANTON AMBATO								
Indice de Disposición (toneladas métricas/año)	Toneladas Acumuladas (toneladas métricas)	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
		(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /hr)	(mmBTU/año)		(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /hr)	(mmBTU/año)
7,789	7,789	0.0	0	0	80%	0.0	0	0
8,137	15,926	0.1	8	1,188	80%	0.1	6	951
8,497	24,423	0.3	15	2,369	80%	0.2	12	1,896
8,870	33,293	0.4	23	3,546	80%	0.3	18	2,837
9,257	42,550	0.5	30	4,719	80%	0.4	24	3,775
9,659	52,209	0.6	38	5,892	80%	0.5	30	4,714
10,076	62,285	0.8	45	7,067	80%	0.6	36	5,654
10,508	72,793	0.9	53	8,247	80%	0.7	42	6,597
10,957	83,750	1.0	60	9,432	80%	0.8	48	7,545
11,422	95,173	1.1	68	10,626	80%	0.9	54	8,500
11,905	107,078	1.3	76	11,830	80%	1.0	60	9,464

Fuente: [32]

### 2.2.6 Estimación promedio del metano.

Siguiendo la misma metodología seleccionada como es EPA (Ecuador), se especifica que como el metano es considerado el 50% del biogás, entonces el mismo se dividiría para 2, por lo que este sería igual a:

- $Q_{CH_4}$  = Metano generado en el año  $\frac{m^3}{año}$
- $Q_m$  = Flujo de biogás =  $48\ 346 \left(\frac{m^3}{año}\right)$  Co

Por lo que:

$$Q_{CH_4} = \frac{Q_m}{2} = \frac{48\ 346 \frac{m^3}{año}}{2} = 24\ 173 \frac{m^3}{año}$$

Como conclusión se tiene, que el metano considerado en el relleno sanitario, según la metodología EPA es de:  $24\ 173 \frac{m^3}{año}$  con una presencia porcentual del 50%.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados y discusión del proyecto propuesto

##### 3.1.1 Diseño de la captación, distribución y sistema de almacenamiento del biogás.

Se inicia con el plano del relleno sanitario, tal como se indican en las Figuras 3-1,2 y 3, como se indica a continuación.

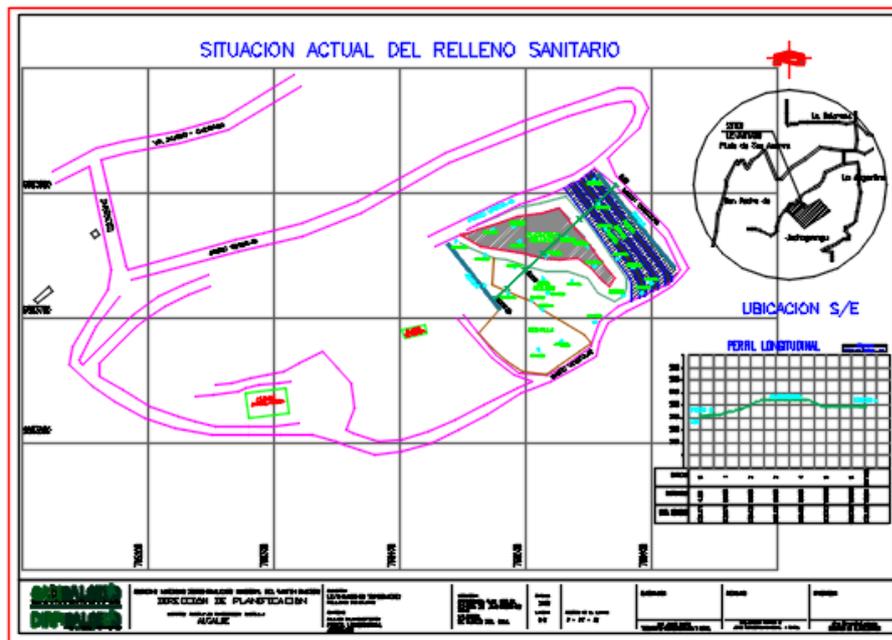


Figura 3-1: Levantamiento topográfico del relleno sanitario. [33]

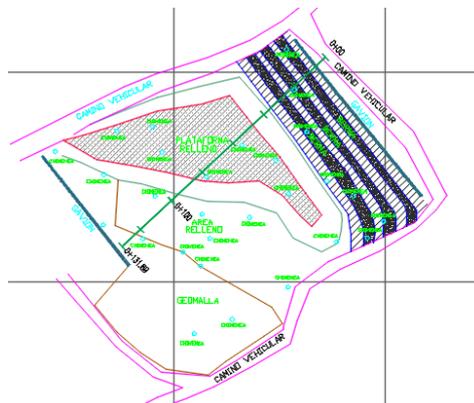
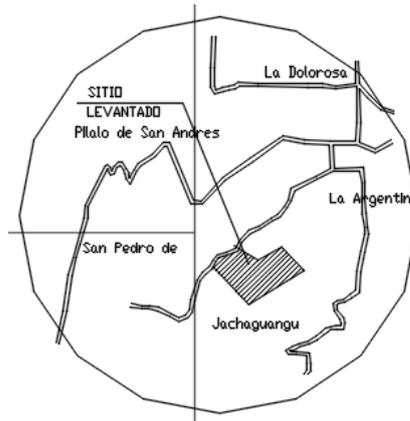


Figura 3-2: Detalle relleno sanitario. [33]



**Figura 3-3:** Detalle del sitio levantado. [33]

Una vez definido la zona del relleno sanitario, se procede a diseñar los pozos de extracción, para lo cual se utilizará normativas mexicanas como son las ofertadas por la SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales), en vista que no existen Normas de este tipo en el país y la Norma ASME B-31.8.

Tal como:

**NOM-083-SEMARNAT-2003:** Descripción de lineamientos para el otorgamiento de apoyos de SEMARNAT para proyectos de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

**NOM-004-SEMARNAT-2002:** Describe la protección ambiental-lodos y biosólidos.

**NOM-052-SEMARNAT-2005:** Establece las características de los residuos peligrosos.

**NMX – AA – 080 – 1986 SECOFI:** Describe la contaminación del suelo, residuos de sólido municipales, determinación del porcentaje de oxígeno en materia orgánica.

Entre las normativas mexicanas más importantes.

Tal como se detalla en la norma ASME B31.8 Edición de 1999, [34], especifica que:

- a) “Se espera que los requerimientos de los diseños sean lo más adecuados para la seguridad pública bajo todas las condiciones que se encuentra en la industria del gas.
- b) El factor más significativo de daño o falla de un gasoducto, es el dado por la gente”.

Se debe tener presente, según la norma ASME B31.8 Edición de 1999, [33], que la:

1. “Presión de diseño no deberá exceder 100 psig.
2. Las temperaturas de operación deben estar en un rango de -20 °F a 140 °F
3. El valor de t (Espesor de pared en pulgadas no deberá ser menor que el valor mostrado en la Tabla 3-1).
4. El valor de t de la tubería no deberá ser menor a 0.062 pulgadas”.

**Tabla 3-1:** Espesor de pared y relación de dimensión estándar para tubería termoplástica

Tamaño Nominal de la Tubería	Diámetro Exterior, Pulgadas	Espesor Mínimo de Pared, pulgadas				
		Relación de Dimensión Estándar, R				
		26	21	17	13.5	11
½	0.840	0.062	0.062	0.062	0.062	0.076
¾	1.050	0.090	0.090	0.090	0.090	0.095
1	1.315	0.090	0.090	0.090	0.097	0.119
1 ¼	1.660	0.090	0.090	0.098	0.123	0.151
1 ½	1.660	0.090	0.090	0.112	0.141	0.173
2	2.375	0.091	0.113	0.140	0.176	0.216
2 ½	2.875	0.110	0.137	0.169	0.213	...
3	3.500	0.135	0.167	0.206	0.259	...
3 ½	4.000	0.154	0.190	0.236	0.296	...
4	4.500	0.173	0.214	0.264	0.333	...
5	5.563	0.224	0.265	0.328	0.413	...
6	6.625	0.255	0.316	0.390	0.491	...

**NOTAS GENERALES:**

- (a) *Relación de Dimensión Estándar.* El sistema de Relación de Dimensión Estándar, permite al usuario seleccionar un número de diferentes tamaños de tubería para un sistema de tuberías, todas las cuales tendrán la misma presión de diseño. Cuando se utilizan materiales plásticos de la misma resistencia de diseño, podrá usarse la misma Relación de Dimensión Estándar para todos los tamaños de tubería, en lugar de calcular un valor de t para cada tamaño.
- (b) Los espesores de pared por encima de la línea, son valores mínimos y no son una función de la Relación de Dimensión Estándar.

Fuente: [34]

### 3.1.2 Pozos y red vertical

A través de las normativas mexicanas, [35] expuestas a continuación, trata de la instalación de pozos de biogás.

- “Diámetros variables, variándose entre 400 y 600 mm.

- La tubería de captación será ranurada de diámetro DN comprendido entre 110 y 160 mm, con un mínimo del 8% de su área con perforaciones o ranuras de 15 mm<sup>2</sup> en toda su longitud.
- En los 3 o 4 metros superiores se sustituye por una tubería lisa para así evitar la transpiración de O<sub>2</sub> y aire efectuado por la depresión del soplante producido, para el bombeo del biogás generado por el Relleno Sanitario.
- Se coloca un tapón de PEAD en su base y uno de fácil apertura en la salida del pozo, durante los tiempos de parada y de extracción de baterías que permita evitar la emanación de gas a la atmósfera durante la construcción.
- El espesor de la capa existente entre la masa de residuos y los tubos verticales varía entre 100 y 220 mm con material que permita la aspiración del biogás, se rellena además con filtro de grava de canto rodado de 25 – 60 mm.
- En la parte superior del relleno se recomienda ser cerrado e impermeable al paso del aire, por lo que se debe colocar en los últimos 3m una mezcla de bentonita sellante en polvo por pozo de unos 5 sacos de 50 Kg en 150 litros de agua, en vista que este material impide el paso del aire a las ranuras de la tubería, recomendando colocarse en los últimos 30 cm dicho material de tipo granular.
- Los cabezales de los pozos están elaborados en PEAD negro de diámetro similar al de la tubería vertical, SDR 17.6, clasificado a 6 bares, el cual incluye una válvula de regulación manual, puntos de muestreo para vigilancia de la calidad del gas y presión de succión a través de derivación DN80, dotados de una tapa de forma que permiten un acceso sin obstrucciones al recubrimiento del pozo.
- Cada pozo está unido a las tuberías de captación a través de un manguito electrosoldable y otro flexible”.

Una vez indicado los requerimientos que pide cumplir la Norma ASME B31.8 y las normativas mexicanas más importantes, se concluye que, la mejor opción es:

## Tubería

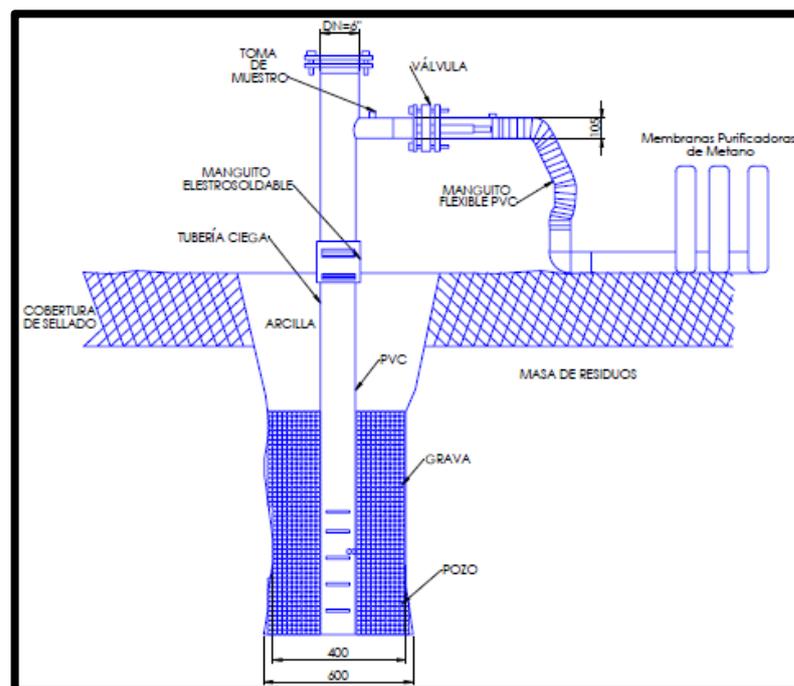
- $D = 160 \text{ mm}$  (Anexo 1)
- Largo de 5 m
- Material: PVC

## Distribución

### Red terciaria

La red terciaria se compone de la red de transporte del biogás, tal como se indica en la normativa mexicana, [35], donde:

- En primera instancia se compone de tuberías  $DN = 90$  a  $120 \text{ mm}$ , que conectan a pozos verticales con los diferentes elementos, por lo que seleccionaremos una tubería de PVC de  $DN = 105 \text{ mm}$ .
- La tubería es suministrada en tramos grandes mientras que los accesorios están manufacturados con materiales compatibles.



**Figura 3-4:** Esquema captación en pozo.

### 3.1.3 Purificación del biogás

La utilización del biogás para poder obtener energía se debe a un elevado contenido de metano, el cual purificado puede destinarse como carburante de vehículo, generar energía, fertilizantes etc., el mismo que puede purificarse mediante dos técnicas que son el lavado con agua a presión o el procedimiento por el uso de membrana. [36]

#### 3.1.3.1 Procedimiento por membranas

El procedimiento por membranas, en primer lugar, se da la eliminación del ácido sulfhídrico presente en el biogás, para posteriormente llevar a una presión superior con la ayuda de un compresor, utilizando una sofisticada interconexión de separación, teniendo como ventaja, la obtención del 100% del metano del biogás bruto. [36]

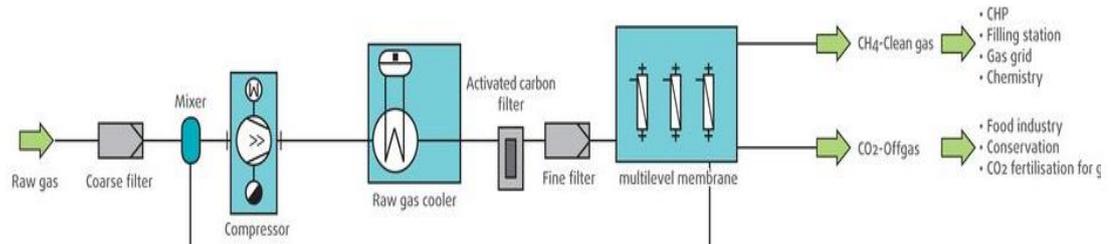


Figura 3-5: Procedimiento por membranas. [36]

### Datos técnicos

#### bioMETAN<sup>m</sup>

Presión de funcionamiento: 10 – 17 bares

Dispersión del metano: < 0,1 %

Autoconsumo de corriente: 0,20 kWh/Nm<sup>3</sup> de gas bruto aprox.

Instalación: Contenedor

Figura 3-6: Datos técnicos Procedimiento por membranas. [36]

### 3.1.3.2 Procedimiento por membranas

Su usará una planta generadora de 6.8 kva como, por lo que se usara.



Figura 3-7: Planta generadora. [37]

### 3.1.3.3 Procedimiento de lavado con agua a presión

El procedimiento de lavado con agua a presión se da, a través de la disolución total del CO<sub>2</sub> y el Ácido Sulfhídrico del Biogás; el biogás es llevado a una presión superior y limpiado en una columna de llenado con agua a contra corriente, donde los gases no deseados son absorbidos por el agua, mientras que el gas limpio es drenado y preparado para otros empleos, donde las ventajas son, máxima recuperación de calor, consumo reducidos de energía, pérdida limitada de metano entre otros. [36]

### Conclusión

Según bioMETAN (2018), [36], el lavado con agua demanda de bastante tecnología, por lo que este sistema es costoso, por lo que es recomendable para instalaciones grandes; la purificación a través de membrana se utiliza en instalaciones pequeñas y de medianas dimensiones en vista que no demanda de tecnología sofisticada, por lo que el costo es más económico, por lo que se escogería en base al costo el procedimiento por membranas.

### 3.1.4 Diseño del tanque de almacenamiento del biogás

Teniendo en cuenta que el tanque va a proceder almacenar biogás por las 8 horas, se inicia el dimensionamiento del mismo, de la siguiente manera.

Teniendo en cuenta que:

- Se ubicarían 28 chimeneas
- Metano generado en el año =  $24\,173 \frac{m^3}{año}$
- Teniendo presente que el gas que se puede captar es, el de un relleno con drenaje activo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente es del 70%, según la Tabla 20 de porcentajes.
- Horas de trabajo 12 horas.

**Tabla 3-2:** Porcentaje de relleno a captar

Porcentaje de gas de relleno que se puede captar (%)	Tipo de relleno
0	Relleno si sistema de drenaje de gas.
10 – 20	Relleno con drenaje puntual (chimeneas u orificios), mal compacto y sin cobertura suficiente.
25 – 50	Relleno con drenaje activador (soplador), mal compactado y sin cobertura diaria suficiente
30 – 60	Relleno con drenaje pasivo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente.
40 – 70	Relleno con drenaje activo, bien compactado y con cobertura diaria suficiente.
70 - 100	Relleno cerrado con taludes y capa final impermeable y bien compactada, drenaje pasivo o activo.

Fuente: [37]

Dado los parámetros se determina que el metano generado en el año es de:

$$24\,173 \frac{m^3}{año} * 0.70\% = 16\,921.1 \frac{m^3}{año}$$

### 3.1.4.1 Caudal (m3/h)

Por lo que el volumen del tanque a almacenar debe tener un caudal de:

$$Caudal\ dia = \frac{Caudal}{Año} = 16\,921.1 \frac{m^3}{año} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Por lo que:

$$Caudal\ dia = \frac{16\,921.1 \frac{m^3}{año}}{365 \frac{días}{año}} = 46.36 \frac{m^3}{día}$$

$$Caudal\ hora = 46.36 \frac{m^3}{día} * \frac{1\ día}{24\ horas} = 1.931666 \frac{m^3}{horas}$$

Por lo que el volumen a almacenar en 12 horas de trabajo es:

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

$$V = Q \times t = 1.93166 \frac{m^3}{h} * 12\ h = 23.18$$

Teniendo presente que es un Relleno que actualmente cuenta solo con chimeneas, y que está provisto ubicarle un soplador para poder succionar el Metano en vista que el mismo no tiene la suficiente presión.

### 3.1.4.2 Perdidas de Carga en Tuberías

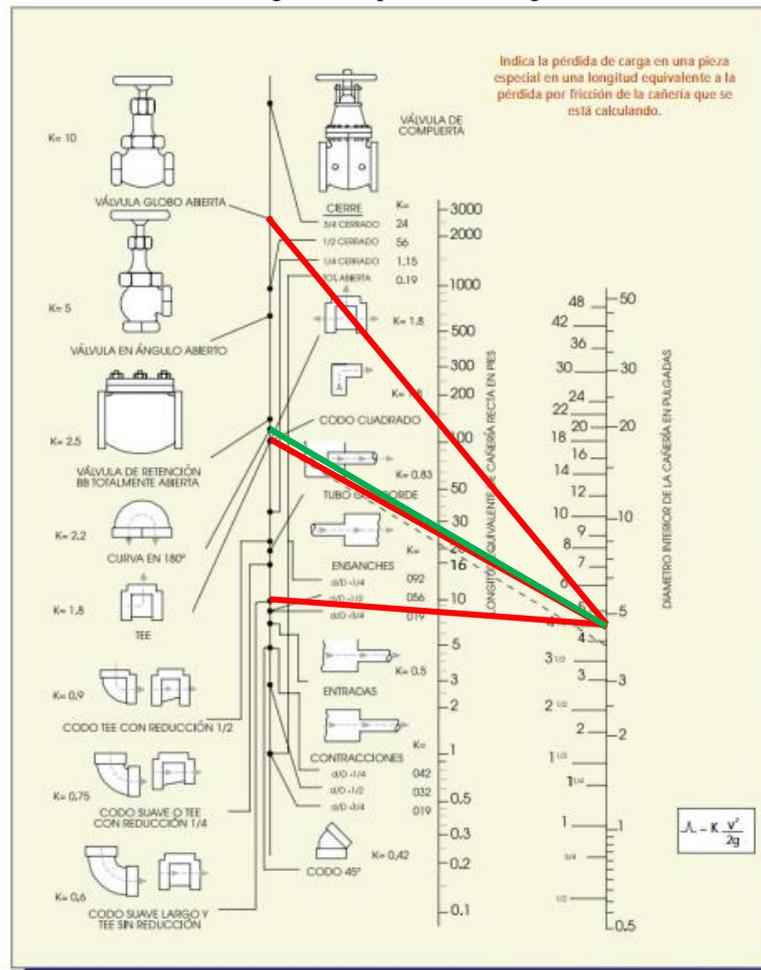
Para determinar las pérdidas se procede de la siguiente manera:

Teniendo presente que el:

- DN = 5" = 127 mm
- Dint = 4.47 " = 0.113538 m

Nos guiamos en el nomograma, tal como se indica en la tabla 3-3, a continuación.

**Tabla 3-3:** Nomograma de pérdida de cargas de accesorios



Fuente: [38]

De acuerdo al diámetro interior obtenido se hallan las longitudes equivalentes de los accesorios a utilizar.

Por lo que la longitud equivalente será para:

Válvula de Globo Abierta: 125 pies = 38 m

Tee: 25 pies = 7.62 m

Codo Suave largo 90°: 8 pies = 2.44 m

Teniendo en cuenta que las longitudes según los planos, del Tubo son de:

**El primer tramo:**

Longitud = 220 m

Accesorios:

- $8 \text{ Tee} = 7.62 \text{ m} \times 8 = 60.96 \text{ m}$
- $2 \text{ Codos} = 2 \times 2.44 \text{ m} = 4.88 \text{ m}$

$Lt1 = 285.84 \text{ m}$

**El segundo tramo:**

Longitud = 194 m

Accesorios:

- Válvula de Globo Abierta: 38 m
- $6 \text{ Tee} = 7.62 \text{ m} \times 6 = 45.72 \text{ m}$
- $2 \text{ Codos} = 2 \times 2.44 \text{ m} = 4.88 \text{ m}$

$Lt2 = 282.6 \text{ m}$

**El Tercer tramo:**

Longitud = 197.32 m

Accesorios:

- $5 \text{ Tee} = 7.62 \text{ m} \times 5 = 38.1 \text{ m}$
- $2 \text{ Codos} = 2 \times 2.44 \text{ m} = 4.88 \text{ m}$

$Lt3 = 240.3 \text{ m}$

**El Cuarto tramo:**

Longitud = 164.8 m

Accesorios:

- 6 Tee = 7.62 m x 6 = 45.72 m
- 2 Codos = 2 x 2.44 m = 4.88 m

Lt4 = 215.4 m

### El Quinto tramo:

Longitud = 21 m

Accesorios:

- 2 Tee = 7.62 m x 2 = 15.24 m
- Válvula de Globo Abierta: 38 m

Lt5 = 74.24 m

### Cálculo de pérdida por Roce en la Tubería (J)

El cálculo de pérdida se procede de la siguiente manera:

$$J = 10.665 * \frac{Q^{1.952}}{C^{1.952} \times Dint^{4.969}} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

J = Pérdida de Carga

$$Q = \text{Caudal} = 1.93 \frac{m^3}{horas} = 0.000536 \frac{m^3}{seg}$$

Dint = 0.113538 m

C = Coeficiente de Rugosidad de PVC, C = 150

Por lo que:

$$J = 10.665 * \frac{0.000536^{1.952}}{150^{1.952} \times 0.113538^{4.969}} = 0.0000123866 \text{ m.c.a./m}$$

Las pérdidas por tramos son:

Ecuación 3-3

$$P = J \times L_t$$

Tramo 1

$$P_1 = J * L_{t1} = 0.0000123866 \text{ m.c.a./m} * 285.84 \text{ m} = 0.00354 \text{ m.c.a}$$

Tramo 2

$$P_2 = J * L_{t1} = 0.0000123866 \text{ m.c.a./m} * 282.6 \text{ m} = 0.0035 \text{ m.c.a}$$

Tramo 3

$$P_2 = J * L_{t1} = 0.0000123866 \text{ m.c.a./m} * 240.3 \text{ m} = 0.00297 \text{ m.c.a}$$

Tramo 4

$$P_2 = J * L_{t1} = 0.0000123866 \text{ m.c.a./m} * 215.4 \text{ m} = 0.002668 \text{ m.c.a}$$

Tramo 5

$$P_2 = J * L_{t1} = 0.0000123866 \text{ m.c.a./m} * 74.24 \text{ m} = 0.00092 \text{ m.c.a}$$

Total, de las pérdidas son:

$$P_t = P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4} + P_{T5}$$

$$P_t = 0.00354 + 0.0035 + 0.00297 + 0.002668 + 0.00092 = 0.013628 \text{ m.c.a.}$$

### 3.1.4.3 Dimensionamiento del Tanque

Una vez definido el volumen que debería tener el tanque se procede a dimensionar el mismo de la siguiente manera:

$$Vol = \pi * r^2 * h \quad \text{Ecuación 3-4}$$

Planteando un radio que debería tener de 1.5 m, por lo que:

$$23.18 \text{ m}^3 = \pi * (1.5)^2 * h$$

$$h = 3.5 \text{ m}$$

Por lo que las dimensiones de cada tanque por seguridad serian de:

$$r = 1.5 \text{ m}$$

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

Una vez detallado las medidas del Tanque se tendría un Volumen de:

$$Vol = \pi * r^2 * h = \pi * (1.5 \text{ m})^2 * 4 \text{ m} = 28.274 \text{ m}^3$$

#### 3.1.4.4 Presión en el tanque de almacenamiento

La presión en el tanque de almacenamiento originada por el gas se determina de la siguiente manera:

$$P = \frac{nRT}{Vol} \quad \text{Ecuación 3-5}$$

Donde:

- P = Presión
- V = Volumen del tanque de almacenamiento =  $28.274 \text{ m}^3 = 28\,274 \text{ Lt}$
- T = Temperatura =  $34\text{C} = 307\text{K}$ , recomendada de  $30^\circ\text{C}$  a  $38^\circ\text{C}$ , [39]
- R = Constante de proporcionalidad =  $82.05 \frac{\text{L} \times \text{atm}}{\text{K} \times \text{Kmol}}$ , constante universal de gases, [40]
- n = Factor mol de metano

Por lo que:

$$\text{Masa} = \text{Densidad} \times \text{Volumen} \quad \text{Ecuación 3-6}$$

$$\text{Masa} = 0.717 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 28.274 \text{ m}^3 = 20.27 \text{ Kg} = 20\,270 \text{ g}$$

Masa Molar del Metano CH<sub>4</sub> = 12.01+1.008x4 = 16.04 g.

$$\begin{aligned} \text{A partir del Factor} &= \frac{1 \text{ mol de Metano}}{16.04 \text{ g de Metano}} \times 20\,270 \text{ g} = 1\,263.715 \text{ mol de Metano} \\ &= 1.26 \text{ Kmol de Metano} \end{aligned}$$

Una vez determinado los parámetros se procede a determinar la presión del gas que ejerce:

$$P = \frac{1.26 \text{ Kmol} \times 82.05 \frac{\text{L} \times \text{atm}}{\text{K} \times \text{Kmol}} \times 307 \text{ K}}{28\,274 \text{ Lt}} = 1.122 \text{ atm} = 16.5 \text{ psi}$$

### 3.1.4.5 Esfuerzo permisible de las paredes del tanque

A continuación, se determina el esfuerzo permisible de la siguiente manera:

$$\sigma_p = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ecuación 3-7}$$

Dónde:

$\sigma_p$  = Esfuerzo permisible

$S_y$  = Resistencia a la fluencia = 36 kpsi, tal como se indica en la tabla 3-4.

$N = 4$ . Factor de diseño de estructuras bajo cargas estáticas o elementos de máquinas bajo cargas estáticas con incertidumbre en alguna combinación de cargas. [41]

**Tabla 3-4:** Propiedades de los aceros estructurales

Designación del material (número ASTM)	Grado, producto o espesor	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
A36	$t \leq 8$ pulg	58	400	36	250	21
A242	$t \leq 3/4$ pulg	70	480	50	345	21
A242	$t \leq 1\frac{1}{2}$ pulg	67	460	46	315	21
A242	$t \leq 4$ pulg	63	435	42	290	21
A500	Tubo estructural formado en frío, redondo o de otras formas					
	Redondo, grado A	45	310	33	228	25
	Redondo, grado B	58	400	42	290	23
	Redondo, grado C	62	427	46	317	21
	Otra forma, grado A	45	310	39	269	25
	Otra forma, grado B	58	400	46	317	23
	Otra forma, grado C	62	427	50	345	21
A501	Tubo estructural formado en caliente, redondo o de otras formas	58	400	36	250	23
A514	Templado y revenido, $t \leq 2\frac{1}{2}$ pulg	110-130	760-895	100	690	18%
A572	42, $t \leq 6$ pulg	60	415	42	290	24
A572	50, $t \leq 4$ pulg	65	450	50	345	21
A572	60, $t \leq 1\frac{1}{4}$ pulg	75	520	60	415	18
A572	65, $t \leq 1\frac{1}{4}$ pulg	80	550	65	450	17
A588	$t \leq 4$ pulg	70	485	50	345	21
A992	Perfiles W	65	450	50	345	21

*Nota:* ASTM A572 es uno de los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), y sus propiedades son similares a las del acero SAE J410b, especificadas por la SAE.

Fuente: [41]

Por lo que:

$$\sigma_p = \frac{36 \text{ Kpsi}}{4} = 9 \text{ Kpsi}$$

A continuación, se procede a dimensionar el espesor del cilindro de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{P * D_m}{2 t} \quad \text{Ecuación 3-9}$$

$$D_m = D_i + t \quad \text{Ecuación 3-8}$$

Donde:

- P = Presión = 16.5 psi
- $\sigma$  = Esfuerzo = 9 Kpsi
- D<sub>m</sub> = Diámetro medio (mm)
- t = Espesor de la pared delgada (mm)
- D<sub>i</sub> = Diámetro interior (mm) = 3 m = 118.11 pulgadas

Por lo que:

$$\sigma = \frac{P * (D_i + t)}{2 t} \quad \text{Ecuación 3-10}$$

$$2t = \frac{P * (D_i + t)}{\sigma}$$

Una vez deducida la formula se procede a determinar los valores solicitados.

$$2t = \frac{0.0165 \frac{Klb}{pulg^2} * (118.11 \text{ pulg} + t)}{9 \frac{Klb}{pulg^2}}$$

$$2t = 0.001833 \times (118.11 \text{ pulg} + t)$$

$$2t = 0.2165 \text{ pulg} + 0.00183t$$

$$1.99817 t = 0.2165 \text{ pulg}$$

$$t = 0.10835 \text{ pulg} = 2.75 \text{ mm}$$

Según los cálculos dimensionados en el catálogo DIPAC y por la facilidad de adquisición en el mercado local, se selecciona una plancha metálica  $e = 2.75 \text{ mm} = 3 \text{ mm}$ .

Finalmente procedemos a la verificación de que el cilindro es un recipiente de pared delgada.

$$\frac{R_m}{t} \geq 10$$

Ecuación 3-11

Por lo que:

$R_m = \text{Radio Medio} = 59.11 \text{ pulgada}$ .

$t = \text{Espesor} = 3 \text{ mm} = 0.1181 \text{ Pulgadas}$ .

$$\frac{59.11}{0.1181} \geq 10$$

$$500.5 \geq 10$$

Se puede comprobar según los resultados dados que el recipiente si es de pared delgada.

## Comprobación

Para comprobar se procede a determinar SI el material seleccionado para que soporte el esfuerzo requerido es el correcto:

$$\sigma = \frac{P * Dm}{2 t}$$

Donde:

- $P = 0.0165 \frac{Klb}{pulg^2}$
- $Dm = 118.22 \text{ pulg.}$
- $t = 3 \text{ mm} = 0.118 \text{ Pulgadas.}$

Por lo que:

$$\sigma = \frac{0.0165 \frac{Klb}{pulg^2} * 118.22 \text{ pulg.}}{2 * 0.118 \text{ pulg.}} = 8.26 \text{ kpsi}$$

$$\mathbf{8.26Kpsi \leq 9 Kpsi}$$

Como se nota que el esfuerzo requerido ( $\sigma$ ) SI es menor que el esfuerzo permisible ( $\sigma_p$ ), se da por válido el material ASTM A36, con un espesor de 3 mm.

### 3.1.4.6 Esfuerzo tangencial, longitudinal y cortante máximo de las paredes del cilindro

#### - Esfuerzo tangencial

El esfuerzo tangencial del tanque se determina de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = \frac{Pr}{t} \quad \text{Ecuación 3-12}$$

Donde:

$P = \text{Presión} = 16.5 \text{ psi}$

$r = \text{Radio} = 1.5 \text{ m} = 59.055 \text{ pulgada.}$

$t = \text{Espesor de pared} = 3 \text{ mm} = 0.118 \text{ Pulgadas.}$

Por lo que:

$$\sigma_1 = \frac{16.5 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} * 59.055 \text{ pulg}}{0.118 \text{ pulg}} = 8\,257.7 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} = 8.2577 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2}$$

- **Esfuerzo longitudinal**

El esfuerzo longitudinal del tanque se determina de la siguiente manera:

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \sigma_1 \quad \text{Ecuación 3-13}$$

Donde:

$\sigma_2 = \text{Esfuerzo Longitudinal}$

$\sigma_1 = \text{Esfuerzo Tangencial} = 8.2577 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2}$

Por lo que:

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} * 8.2577 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2} = 4.12885 \frac{\text{Klb}}{\text{pulg}^2}$$

$$\sigma_{prom} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) = \frac{1}{2}(8.2577 \text{ kpsi} + 4.12885 \text{ kpsi}) = 12.38655 \text{ kpsi}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{Modulo de Ruptura}} &= \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) = \frac{1}{2}(8.2577 \text{ kpsi} - 4.12885 \text{ kpsi}) \\ &= 2.0644 \text{ kpsi} \end{aligned}$$

- **Esfuerzo cortante máximo en la pared del cilindro**

El esfuerzo cortante máximo en la pared del cilindro de la siguiente manera:

$$\tau_{max} = \frac{Pr}{4t}$$

Ecuación 3-14

Donde:

$\tau_{max}$  = Esfuerzo cortante máximo

$P$  = Presión = 16.5 psi

$r$  = Radio = 1.5 m = 59.055 pulgada.

$t$  = Espesor de pared = 3 mm = 0.118 Pulgadas.

Por lo que:

$$\tau_{max} = \frac{16.5 \frac{lb}{pulg^2} \times 59.055 \text{ pulg.}}{4 \times 0.118 \text{ pulg.}} = 2064.4 \frac{lb}{pulg^2} = 2.06 \frac{Klb}{pulg^2}$$

### 3.1.5 Selección de separadores de humedad

Se debe tener presente que se debe filtrar y deshumificar el biogás disminuyendo los efectos corrosivos que este puede causar; por lo que se puede emplear separadores de humedad centrífugos, recomendando que estos oscilen desde 100 KPa a 700 KPa, en vista que la presión promedio es de 16.5 psi = 113.7635 KPa.

### 3.1.6 Selección de sopladores

Debido a la variación de flujo de biogás y en vista que estos no tienen la suficiente presión atmosférica, se recomienda usar sopladores, para que ayuden al aumento de presión, el mismo que es adecuado para la extracción del biogás de relleno sanitario, con propósito de generación de electricidad, en base al flujo de  $1.93 \frac{m^3}{horas}$ , para lo que se selecciona:

Un soplante de desplazamiento positivo o de proceso, con un flujo que varía de 20 –  $25000 \frac{m^3}{horas}$ , en vista que es el que requiere menor flujo, tal como se indica a continuación, tal como se indica en la tabla 3-5.

**Tabla 3-5:** Tipo de soplantes

	Producto	Flujo	Aspiración/ Presión
	Soplantes de desplazamiento positivo	20-25000 m³/h 12-14705 cfm	500 mbar abs (15 "Hg) 1 bar eff (14.5 psig)
	Soplantes de inyección de aire de vacío	100-9000 m³/h 59-5294 cfm	80 mbar abs
	Soplantes de presión para camiones de granel seco (Truckstar)	110-1700 m³/h 65-1000 cfm	500 mbar abs (15 "Hg) 1,2 bar eff (17.4 psig) (intermitente)
	Soplantes de proceso (juntas y materiales especiales)	20-25000 m³/h 12-14705 cfm	500 mbar abs (15 "Hg) 1,8 bar eff (26 psig) (dos-fases)
	Soplantes de desplazamiento positivo con inyección de agua	20-45000 m³/h 12-26470 cfm	500 mbar abs (15 "Hg) 1 bar eff (14.5 psig)
	Compresores de tornillo exentos de aceite	300-8500 m³/h 177-5000 cfm	500 mbar abs (15 "Hg) 3,5 bar eff (50 psig)
	Soplantes centrifugos multietapa	1000-40000 m³/h 589-23530 cfm	500 mbar abs (15 "Hg) 1,1 bar eff (16 psig)

Fuente: [42]

En vista que el soplante que se solicita, debe manejar gases neutrales como el biogás, el seleccionado es:

Un soplante de proceso diseñado para manejar gases neutrales de biogás, con caudales que varían de 20 a 25 000  $\frac{m^3}{h}$ , con presiones de 26 psi; en vista que se requiere un soplante con una presión máxima de: 16.5 psi y un caudal promedio de 1.93  $\frac{m^3}{horas}$ , tal como se detalla en línea figura 3-6.

Estas unidades pueden ser diseñadas para manejar una gran variedad de gases. Se dispone de diversos materiales (hierro fundido, bronce, acero inoxidable, titanio, cobre...) y diseños de sellado para cumplir con la mayoría de los requisitos de procesos y estándares internacionales.

- Cinco rodamientos estándar diseñados para correa trapezoidal o transmisión directa.
- Lubricación de aceite en ambos extremos con grandes cárteres.
- Amplia selección de material de construcción para cumplir con los requisitos del proceso.
- Paquetes completos incluyendo accesorios y sistema de control.



• **Serie SNS para gases neutrales**  
Biogás, N<sub>2</sub>, Ar, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, He...

- Caudales hasta 25 000 m³/h (14705 cfm)
- Presión hasta 1,8 bar (26 psig)
- Vacío hasta 500 mbar abs (15" Hg)

■ Sello de eje: sello de labio simple, sello de labio doble, sello mecánico simple, sello mecánico doble.

■ Sello principal: sellos de anillo de pistón, anillo de pistón + sellos de laberinto, sello de labio + sellos de laberinto.

**Figura 3-8:** Soplante de proceso. [42]

### 3.1.7 Bonos de carbono

Según el banco mundial los bonos de carbono es el precio que se atribuye a una tonelada de CO2 equivalente que no se emite a la atmosfera, el carbono equivalente viene dado por el efecto invernadero de los gases en su valor equivalente con el CO2

Para el cálculo del CO2 eq del metano se multiplica el valor de producción anual de la planta

Cálculo de la masa en toneladas del metano producido

$$1.9 \frac{m^3}{h} * \frac{12 h}{1 dia op} * \frac{5 dia op}{1 sem op} * \frac{52 sem op}{1 año} = 5928 \frac{m^3}{año}$$

$$m = 5928 m^3 * 0.72 \frac{Kg}{m^3} = 4268.16 Kg * \frac{Ton}{1000 Kg} = 4.26 Ton$$

$$CO2_{eq} = masa * potencial calentamiento global$$

Potencial de calentamiento del metano (CH4) es 25

$$CO2_{eq} = 4.26 Ton * 25 = 106.7 Ton$$

Los precios de los bonos de carbono por dejar de emitir al ambiente, según el Banco Mundial (2017), varia de 40 a 80 \$ por tonelada por lo que se tomará un valor promedio como es de 60 \$

$$Ingreso por bonos de carbono = 106.7 Ton * \frac{60\$}{Ton} = 6402.24\$$$

### 3.1.8 Transformación de biogás a generación de electricidad

Tabla 3-6: Características generales del biogás

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor Calorífico (Kwh/ m <sup>3</sup> )	7.0	10	26	10	3
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Limite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

Fuente: [43]

Según la tabla el valor calorífico de un m<sup>3</sup> de Metano es de 10 kWh y con un volumen de producción de 1.9 m<sup>3</sup> obtenemos, el valor calorífico de producción por hora

$$1.9 \text{ m}^3 * \frac{10 \text{ Kwh}}{1 \text{ m}^3} = 19 \text{ Kw h}$$

El costo del biogás en el territorio continental es de 9.67 \$. [44]

Por lo que el costo de los 19 kWh a 0.0967 centavos cada kWh es:

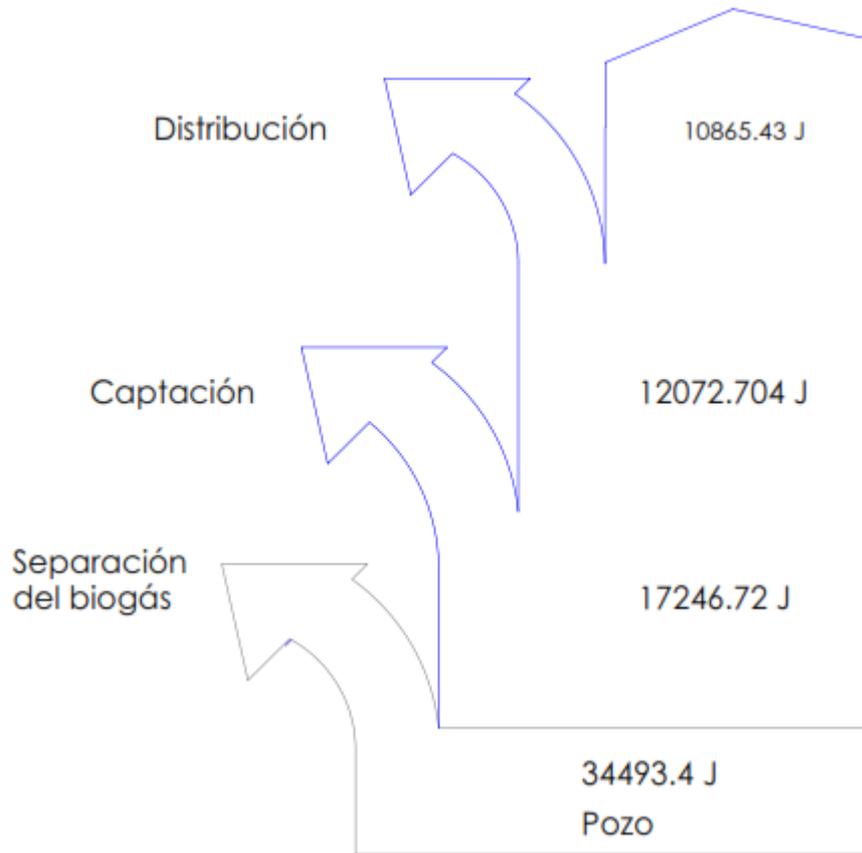
$$x = \frac{19 \text{ kWh} * 0.0967\$}{1 \text{ kWh h}} = 1.8373 \$$$

Por lo que el costo por día operación es de:

$$1.8373 \$ \times 12 \text{ h} = 22.05 \$$$

Mientras que anualmente generaría la Planta de Biogeneración por tanque se almacenamiento es:

$$22.05 \frac{\$}{\text{dia op}} * \frac{5 \text{ dia op}}{1 \text{ sem op}} * \frac{52 \text{ sem op}}{1 \text{ año}} = 5732.38 \frac{\$}{\text{año}}$$



**Figura 3-9:** Diagrama de Sankey

### 3.1.9 Layout ductos colectores

El layout de los ductos colectores tiene un sistema ramificado múltiple, el cual consiste en conexiones laterales para cada pozo, que conducen el biogás a ductos principales conectados al sistema de extracción, véase el plano en los anexos

## 3.2 Análisis de factibilidad económica

### 3.2.1 Costos

El análisis de costos se debe dividir en:

- Costo de materiales, tabla 3-7.

- Costo de mano de obra, tablas 3-8 y 3-9
- Costos Indirectos, tabla 3-10.

**Tabla 3-7: Costos de materiales**

Descripción	Cantidad	Tubos	Precio Unitario por m o unidad	Costo (USD)
Tuberías de PVC DN = 6” = 127 mm (8m por Pozo)	240 m	40	14.24	569.60
Tubería de PVC DN = 105 mm.	900 m	150	8.39	1 258.50
Planchas de acero e=3mm	112 pl		11,50	1 288.00
Mecanismo por Membranas	1		300	300.00
Soplador	1		150	150.00
Varios (Pernos, tuercas, codos, tees etc)			400.00	400.00
<b>Sub Total</b>				<b>3966.10</b>
IVA 12%				475.93
<b>Total</b>				<b>4442.03</b>

Fuente: El Autor

**Tabla 3-8: Costo de mano de obra en el montaje**

Descripción	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
2 - Técnicos responsables	483.49	966.98
<b>Total</b>		<b>966.98</b>

Fuente: (Tabla salarial, 2019)

**Tabla 3-9: Costo de mano de obra para la operación y el mantenimiento**

Descripción	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1 - Técnicos responsables	602.93	602.93
<b>Total mes</b>		<b>602.93</b>
<b>Total año</b>		<b>7235.16</b>

Fuente: (Tabla salarial, 2019)

**Tabla 3-10:** Costo indirecto

<b>Elementos</b>	<b>Costo (USD)</b>
Papelería.	100.00
Transporte	150.00
Instrumentos de escritorios	100.00
<b>Subtotal</b>	<b>350.00</b>
<b>10% de Imprevistos</b>	<b>35.00</b>
<b>Total</b>	<b>385.00</b>

Fuente: El Autor

### 3.2.2 Flujo de caja

Tabla 3-11: Flujo de caja

Años	0	1	2	3	4	5
(+) Saldo Inicial		5000.00	0	0	0	1023.91
<b>Ingreso</b>						
Generación de electricidad		5732.38	5732.38	5732.38	5732.38	5732.38
Bonos de carbono		6402.24	6402.24	6402.24	6402.24	6402.24
(+) Total Ingresos		17134.62	12134.62	12134.62	12134.62	13158.53
<b>Egresos</b>						
<b>Planta Biogeneración</b>						
Gastos de Equipos y Materiales	<b>4442.03</b>					
Planta generadora de electricidad	<b>15000.00</b>					
Gastos de Montaje de la Planta	<b>966.98</b>					
<b>Gastos Administrativos</b>						
Gastos de operación y mantenimiento		<b>7235.16</b>	<b>7343.69</b>	<b>7453.84</b>	<b>7565.65</b>	<b>7679.14</b>
Gastos Varios	385.00	385.00	385.00	385.00	385.00	385.00
Perdida del año anterior		20794.01	11279.55	6873.62	2577.84	0
(-) Total Egresos	- 20794.01	- 28414.17	-19008.24	-14712.46	-10528.49	-8064.14
Utilidad antes del Impuesto	-20794.01	-11279.55	-6873.62	-2577.84	1606.13	5094.39
Impuesto a las Utilidades (25%)		0	0	0	401.53	1273.60
Utilidad después del Impuesto		0	0	0	1204.60	3820.79
Participación de los Trabajadores (15%)		0	0	0	180.69	573.19
<b>Utilidad Neta</b>	-20794.01	<b>-11279.55</b>	<b>-6873.62</b>	<b>-2577.84</b>	<b>1023.91</b>	<b>3247.60</b>
<b>Flujo de Caja</b>	-20794.01	<b>-11279.55</b>	<b>-6873.62</b>	<b>-2577.84</b>	<b>1023.91</b>	<b>3247.60</b>
<b>Flujo Acumulado</b>	-20794.01	<b>-32073.56</b>	<b>-38947.18</b>	<b>-41525.02</b>	<b>-40501.11</b>	<b>-37253.51</b>

Fuente: El Autor

### 3.2.3 Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

TMAR = Tasa de la Inflación + Riesgo de la Inversión

Donde:

Tasa de Inflación = -0.20, según el Banco Central del Ecuador y el INEC, [45]

Riesgo de la Inversión:

- Bajo Riesgo = 3 a 6%
- Riesgo Medio = 6 a 10%
- Riesgo Alto = más de 10%

El riesgo a considerar es Bajo = 5%

Por lo que:

TMAR = -0.20 + 5 = 4.8%

### 3.2.4 Valor presente neto (VAN)

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

Ecuación 3-15

Donde:

F<sub>t</sub> = Flujo de Caja

I<sub>0</sub> = Inversión Inicial = 15794.01\$

t = Número de periodos

$i$  = Tipo de descuento

Por lo que:

$$VAN = -20793.47 \$ < 15794.01 \$ \text{ (No es fiable)}$$

### 3.2.5 Tasa interna de retorno (TIR)

$$VAN = 0$$

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

Ecuación 3-16

Donde:

$F_t$  = Flujo de Caja

$I_0$  = Inversión Inicial = 15794.01\$

$t$  = Número de periodos

$i$  = Tipo de descuento

Por lo que:

$$TIR = -45.78 \% < 4.8\% \text{ (No es fiable)}$$

### 3.2.6 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión en si representa al tiempo requerido para que la empresa recupere su inversión inicial.

El periodo de recuperación de la inversión se determina de la siguiente manera:

Ecuación 3-17

$$PR = a + \left[ \frac{(b - c)}{d} \right]$$

Donde:

- Periodo de Recuperación de la Inversión = PR
- Año anterior al que se recupera la inversión = a = 1 año
- Inversión Inicial = b = 15794.01 \$
- Suma de flujos de efectivos anteriores = c = **32073.56 \$**
- FNE del año en que se satisface la inversión = d = **0**

Por lo que:

$$PR = 1 \text{ año} + \left[ \frac{(-15794.01 \$ - 32073.56 \$)}{0} \right]$$

$$PR = 1 \text{ año} + \left[ \frac{47867.57 \$}{0} \right]$$

$$PR = \alpha$$

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- La estimación promedio del biogás producido, que se determinó en base a la metodología EPA planteado inicialmente es de  $48\,346 \frac{m^3}{año}$ , considerado en el Relleno Sanitario, teniendo presente que para utilizar este modelo es necesario conocer la tasa promedio de residuos, así como el número de años de apertura de dicho relleno.
- La estimación presencial porcentual de metano en el biogás producido en el relleno sanitario es de  $24\,173 \frac{m^3}{año}$ , teniendo como referencia que el metano en el biogás ocupa del 45 al 60%, el cual se da en base al biogás generado en el año, la generación porcentual de metano, la tasa de residuos sólidos, el índice de generación entre otros.
- Se procedió al diseño de captación mediante pozos y red vertical, seleccionando tuberías  $D = 160$  mm, según la Norma ASME B31.8, distribución y sistema de almacenamiento del Biogás, de un tanque de  $r = 1.5$  m,  $h = 4$  m y el espesor = 3 mm.
- Se realizó el análisis económico, donde se comprobó que no es factibilidad, por la determinación menor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) que la Tasa Mínima la cual No es Aceptable de Rendimiento (TMAR),  $TIR = -45.78 \% < TMAR = 4.8\%$

## 4.2 Recomendaciones

Como recomendaciones se sugiere las siguientes:

- Se recomienda realizar proyectos de investigación, con una visión a largo plazo, poniendo en práctica lo aprendido durante la vida estudiantil.
- Complementar el tema con la instalación de un manual de mantenimiento, para que se garantice la normal operación y funcionamiento.
- Realizar el análisis del biocombustible obtenido, basándose en futuras investigaciones, para el área de energías alternativas, generando fuentes de empleo mediante un aprovechamiento óptimo de los desechos.
- Se recomienda llevar a cabo el proyecto, el mismo que produce desarrollo de tecnología sustentable, produciendo energía limpia, ahorrando dinero por no consumir energía eléctrica de red pública.
- Para rentabilizar este tipo de proyectos se ha de considerar los posibles ingresos por bonos de carbono puesto la emisión de los mismos se perfila como una buena opción de negocio.

## **C. MATERIALES DE REFERENCIA**

### **Bibliografía**

- [1] S. Garcés, Determinación de tipos de biomasa con potencial energético para la producción de biogás de los residuos sólidos urbanos (RSU) en la ciudad de Salcedo., Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [2] D. Jácome, Tratamiento de lixiviados del relleno sanitario del cantón Salcedo provincia de Cotopaxi mediante Floculación Iónica y técnica FENTON en el año 2015, Riobamba: Escuela Politécnica del Chimborazo, 2016.
- [3] L. Naranjo y M. Sunta, Proyecto de factibilidad para la creación de una planta de tratamiento de desechos sólidos en la ciudad de Salcedo, Latacunga: Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, 2007.
- [4] FAO, Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura, Roma, 2015.
- [5] J. Benjamín y O. Mesera, Captura de carbono ante el cambio climático, México. D.F., 2015.
- [6] CAME, Programa de Gestión Federal para mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis, Puebla, 2017.

- [7] SemanaDeLaCiencia, «Los residuos urbanos y su problemática,» biblioteca, 2017. [En línea]. Available: <http://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina1.htm#Cabecera>. [Último acceso: 03 Enero 2018].
- [8] estrucplan, «estrucplan on line,» 20 Septiembre 2004. [En línea]. Available: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=759>. [Último acceso: 04 Enero 2018].
- [9] L. Crisanto, Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogás generado por el relleno sanitario del INGA, Quito, 2013.
- [10] SOLUCIONES , «SOLUCIONES PRÁCTICAS,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.solucionespracticas.org.pe/cuales-son-los-factores-fisico-quimicos-que-influyen-en-la-produccion-de-biogas>. [Último acceso: 05 Enero 2018].
- [11] D. López, Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios., Santiago, 2016.
- [12] José, «proyectobiogas,» blogspot, 06 Marzo 2008. [En línea]. Available: <http://proyectobiogas.blogspot.com/2008/03/propiedades-y-composicion-del-biogas.html>. [Último acceso: 05 Enero 2018].
- [13] D. Villacis, Determinar el potencial energético para la generación de electricidad con el biogás emitido en el relleno sanitario del cantón Salcedo., Latacunga, 2016.
- [14] J. Aguilar, Diseño y automatización de un siministro de biogás residencial en el municipio de Chalco, Valle del Chalco, 2017.

- [15] I. Corona, Biodigestores, Estado de Hidalgo, 2007.
- [16] J. Doroteo, Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México, México D.F., 2012.
- [17] G. Joaquín, Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina, Córdoba, 2014.
- [18] A. Gonzáles, Modelado del Comportamiento Energético del Centro de Tratamiento de Residuos de San Román de la Vega (León), e impacto económico de las actuaciones concurrentes en el mismo, León, 2015.
- [19] I. Vera, Desarrollo Metodológico para el Análisis de la Viabilidad de un Proyecto de Microgeneración, México D.F., 2011.
- [20] INEC, «Información Censal,» ecuadorencifras, [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>. [Último acceso: 5 Enero 2018].
- [21] BCE, «Contenido,» Banco Central del Ecuador, 2017. [En línea]. Available: [https://contenido.bce.fin.ec/resumen\\_ticker.php?ticker\\_value=inflacion](https://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion). [Último acceso: 5 Enero 2018].
- [22] INEC, Boletín técnico N° 09-2019-IPC, Quito, 2019.

- [23] D. G. Ambiental, Interviewee, *PESO DE MATERIA ORGANICA DEL INGRESO A LA PLANTA DE COMPOSTAJE DEL 2017*. [Entrevista]. 22 Enero 2019.
- [24] C. Riba, *Diseño concurrente*, Barcelona, 2002.
- [25] G. Tchabanoglous, H. Theissen y R. Eliassen, *Desechos Sólidos Principios de Ingeniería y Administración*, Merida, 1982.
- [26] Y. Cengel y M. Boles, *Termodinámica*, México D.F.: McGrawHill, 2012.
- [27] P. Cárdenas, *Estimación de biogás y lixiviados generados en sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos del Estado de México*, México D.F., 2014.
- [28] Aguilar, Tobaada y Ojeda, *Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás*, Mexico D.F., 2011.
- [29] INHAMI, *Boletín Climatológico Anual 2015*, Quito, 2016.
- [30] E. Urrego y J. Rodriguez, *Aplicación de las Metodologías EPA, mexicano e IPCC para la estimación de biogás, caso de estudio relleno sanitario Doña Juana*, Bogotá, 2016.
- [31] M. t. Markets, «Global Methane Initiative,» globalmethane, 2009. [En línea]. Available: <https://globalmethane.org/partners/country.aspx?c=ecuador>. [Último acceso: 13 Marzo 2018].

- [32] G. Nicola, Diseño del sistema de recogida, tratamiento y eliminación de residuos sólidos para poblaciones de la zona alta del cantón Ambato, República del Ecuador, Valencia, 2017.
- [33] J. Quispe, Levantamiento Topográfico de Relleno Sanitario, Salcedo, 2016.
- [34] ASME, Sistema de Tubería para Transporte y Distribución de Gas, New York, 1999.
- [35] SEMARNAT, Manual de especificaciones técnicas para la construcción de rellenos sanitarios para Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME), 2009.
- [36] bioMETAN, «BTS,» TS energy GROUP, 2018. [En línea]. Available: <http://www.bts-biogaz.com/es/productos/biometan.html#p.biometan-sup-m-sup.biometan-sup-m-sup-procedimiento-con-membranas>. [Último acceso: 26 Febrero 2018].
- [37] E. Röben, Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Loja, 2002.
- [38] M. Yurico, Perdida de Carga en Tuberías y Accesorios, Trujillo, 2011.
- [39] J. Villanueva, H. Nájera, J. Gómez, T. Hernández y A. Velasco, Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino., Lacandonia, 2011.

- [40] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, México D.F., 2011.
- [41] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, Naucalpan de Juarez: PEARSON, 2006.
- [42] Ingersoll Rand, Soplates y Compresores de baja presión para aire y gases, Wsequehal, 2007.
- [43] M. Varnero, MANUAL DE BIOGÁS, Santiago de Chile: FAO, 2011.
- [44] ARCONEL, PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN CODIFICADO, Quito, 2019.
- [45] ecuaorencifras, INEC, Quito, 2017.
- [46] ambientum, «Suelos y Residuos,» Revista ambientum, Febrero 2003. [En línea]. Available: [http://www.ambientum.com/revista/2003\\_01/BIOGAS.htm](http://www.ambientum.com/revista/2003_01/BIOGAS.htm). [Último acceso: 13 Enero 2018].
- [47] Banco Central del Ecuador, REPORTE MENSUAL DE INFLACIÓN, Quito, 2019.

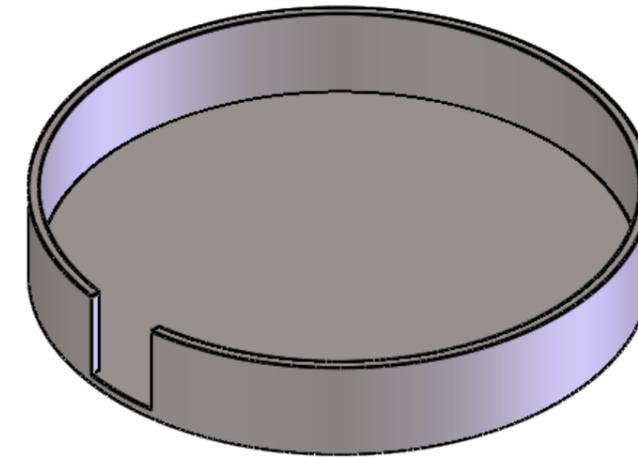
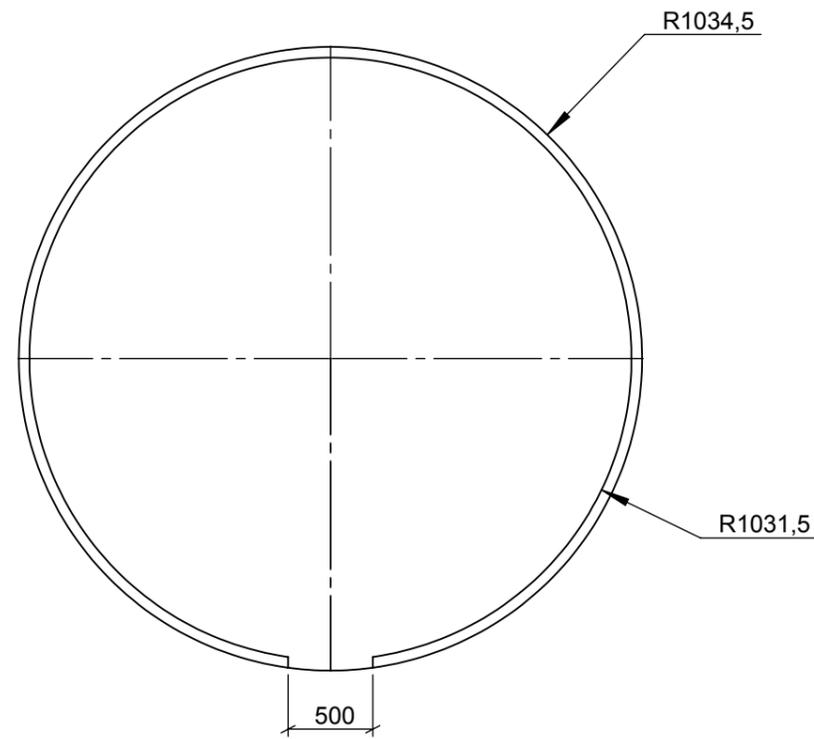
# **ANEXOS**

# 1. PROFORMA DE TUBOS DE PVC

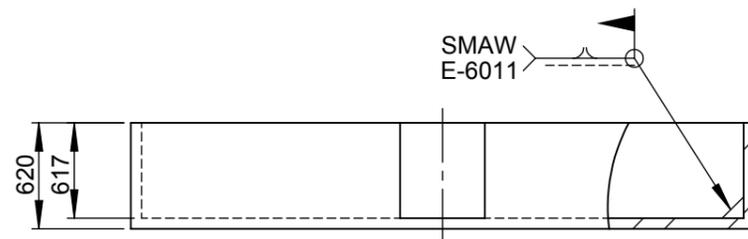
<b>FERMACOL</b>								Página: 1 de 1
<b>DETALLE DE PROFORMA EMITIDA</b>								Fecha: 12/04/2018
<b>No. PEDIDO: 001-001 00174922</b>				<b>FECHA: 12/04/2018</b>				
CLIENTE:	CF	NOMBRE:	SEBASTIAN CASTRO	BODEGA:	06			
VENDEDOR:	TIEN	DIRECCION:		REFERENCIA:				
TRANSPORTISTA:								
CODIGO	ARTICULO	UND	CAJAS	CANTIDAD	PRECIO	DESCTO.	TOTAL	
33.105	TUBO PVC DESAGUE 4" NORMA INEN TIGR	UND	1.00	100.00	8.39	0.00	839.00	
33.165	TUBO PVC DESAGUE E/C 160MM NORMA INI	UNI	1.00	100.00	14.24	0.00	1,424.11	
OBSERVACIONES:							SUBTOTAL:	2,263.11
SON: DOS MIL QUINIENTOS TREINTA Y CUATRO con 68/100							TOTAL NETO:	2,263.11
							DESCUENTO:	0.00
							EXCENTO:	0.00
							GRAVADO:	2,263.11
							CARGOS	0.00
							I.V.A.:	271.57
							<b>TOTAL:</b>	<b>2,534.68</b>
_____ RESPONSABLE							I = 'I.V.A'	

## 2. PLANOS

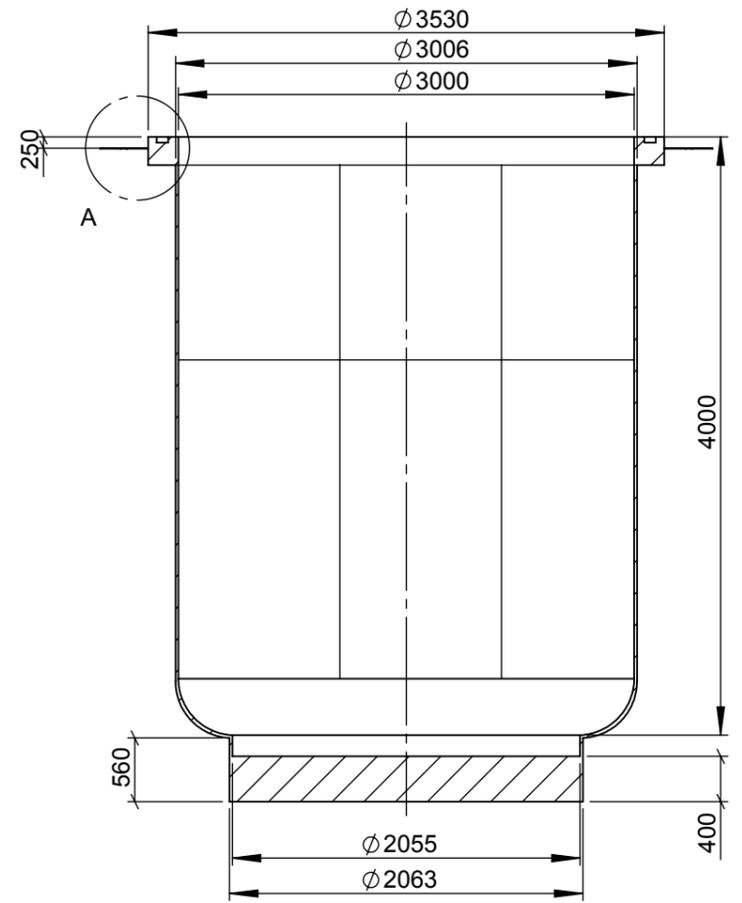
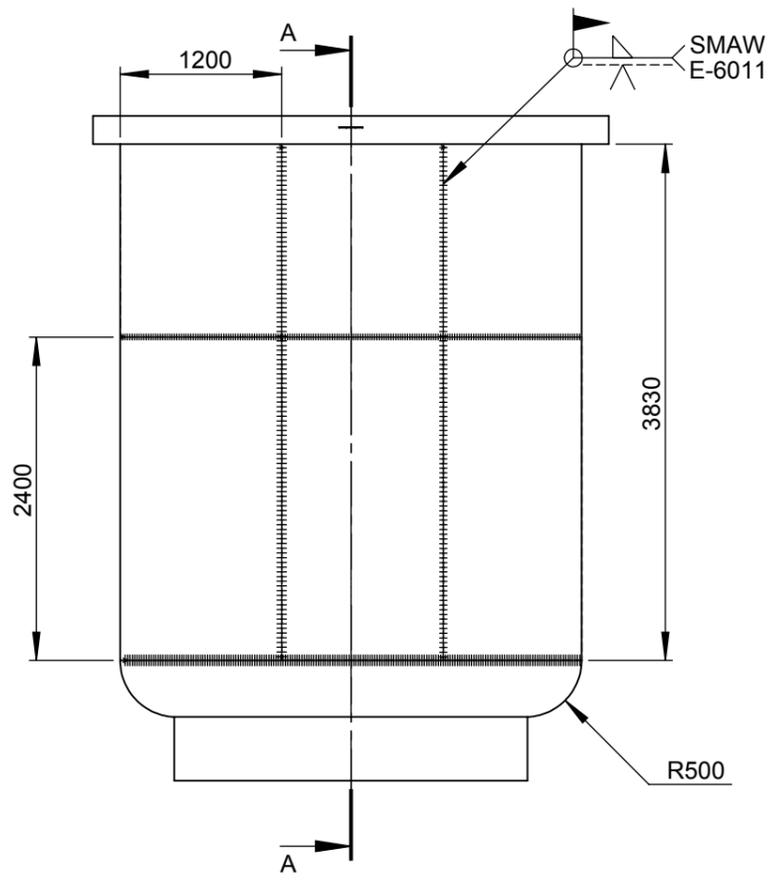




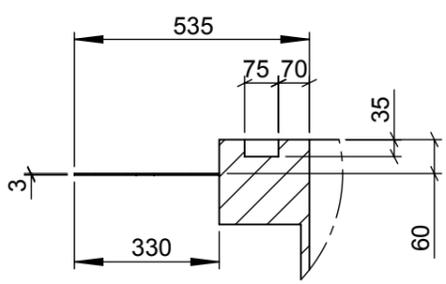
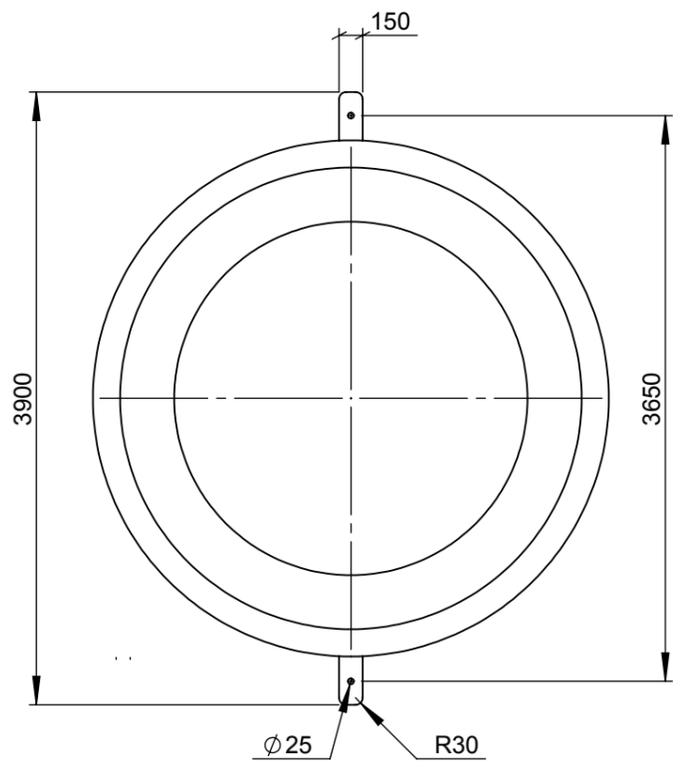
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA: 1:50



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:			
				± 1	190.4 Kg	ASTM A36			
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO:	08/11/2019	Castro Sebastián	Soporte Base del Tanque		1:50
				REVISO:	08/11/2019	Msc. Ing. Escobar Luis			
				APROBO:	08/11/2019	Msc. Ing. Escobar Luis			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA			N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
							HOJA 2 DE 4		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:				SUSTITUCION:		

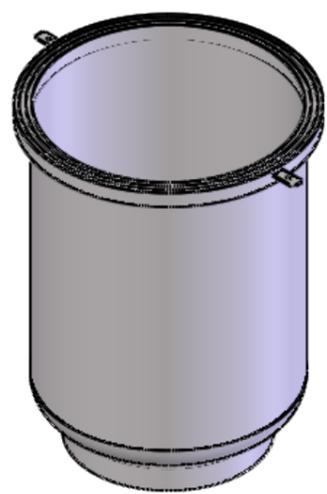


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1:50

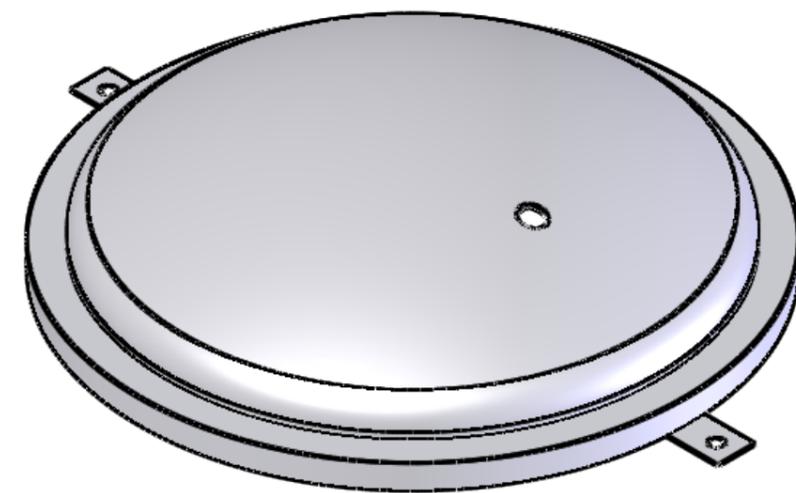
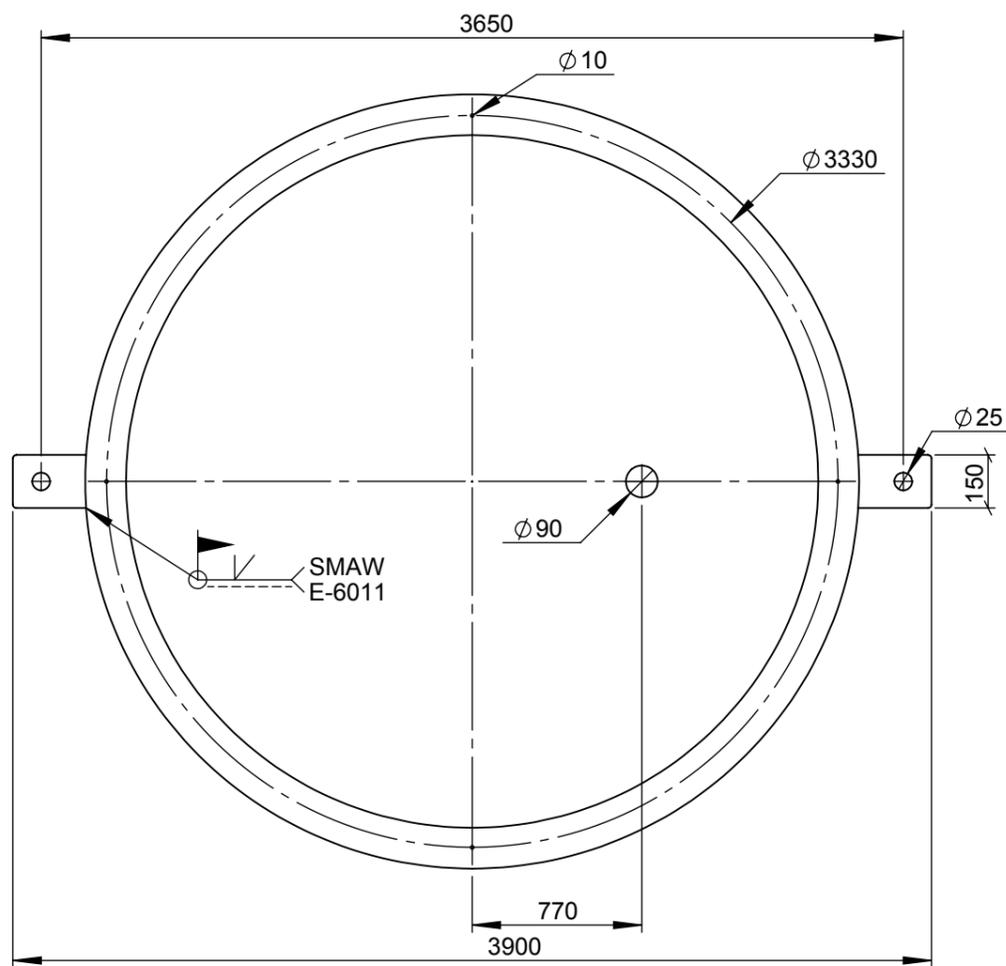
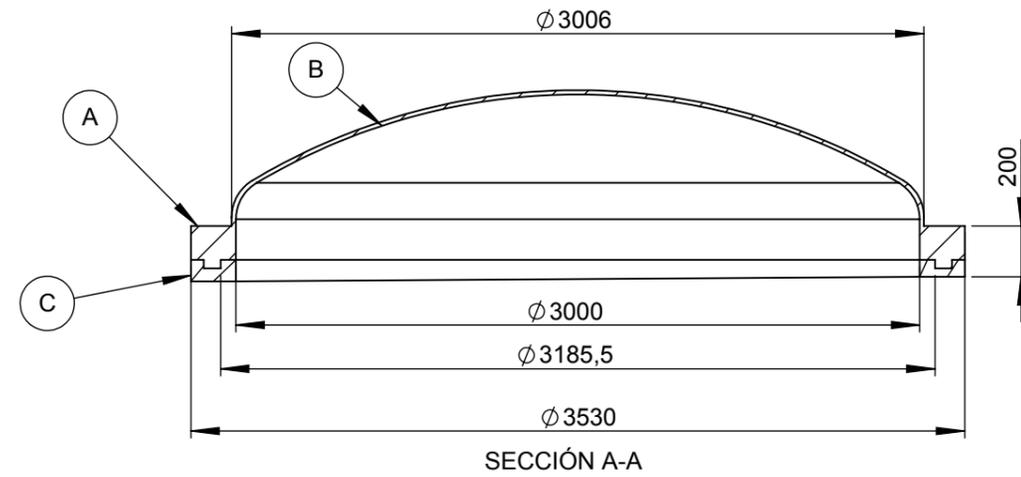
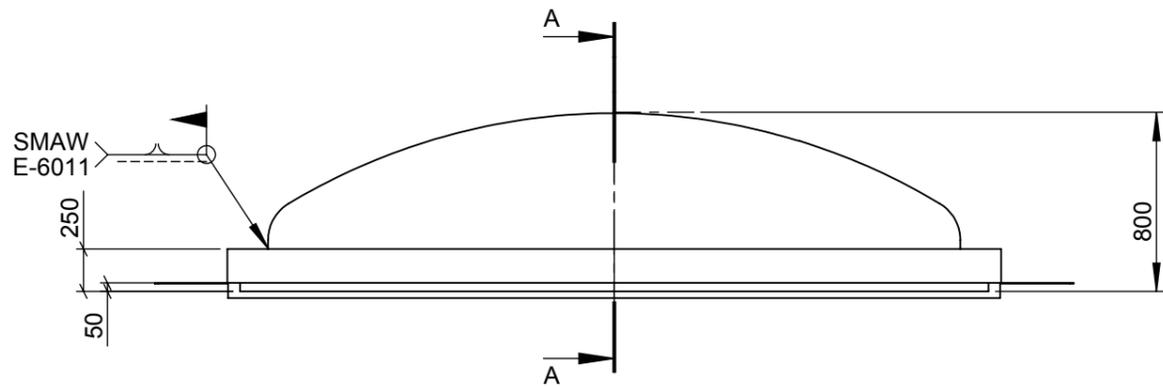


DETALLE A  
ESCALA 1:10

VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA: 1:100



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±1	1047,03 Kg	ASTM A36		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 08/11/2019	Castro Sebastián	Tanque		1:50
				REVISO: 08/11/2019	Msc. Ing. Escobar Luis			
				APROBO: 08/11/2019	Msc. Ing. Escobar Luis			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA	REGISTRO:	
						HOJA 3 DE 4		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCION:		



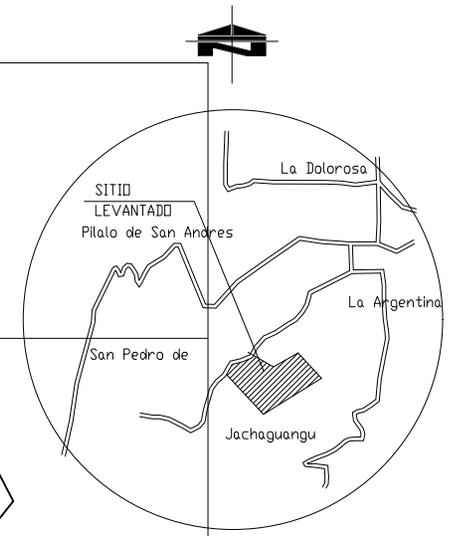
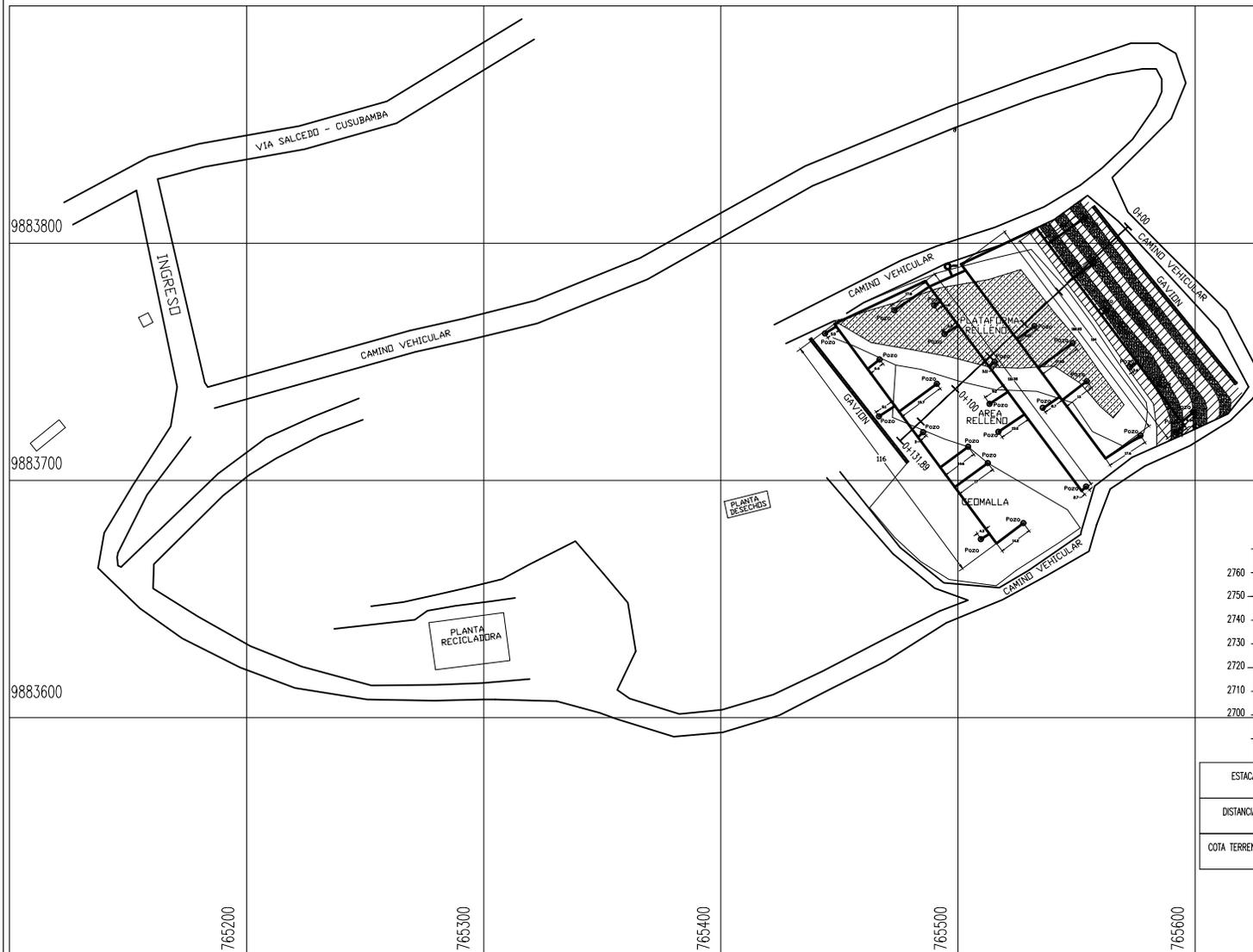
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA: 1:20

Nota:

- A = Tapa
- B = Aro
- C = Empaque

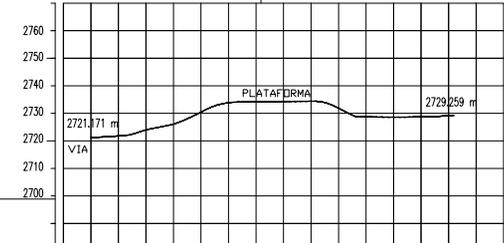
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±1	200 Kg	ASTM A36		
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJO: 08/11/2019	Castro Sebastián	Tapa		1:20
				REVISO: 08/11/2019	Msc. Ing. Escobar Luis			
				APROBO: 08/11/2019	Msc. Ing. Escobar Luis			
				U.T.A. INGENIERIA MECANICA		N.º DE LAMINA:	REGISTRO:	
						HOJA 4 DE 4		
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCION:				

# SITUACION ACTUAL DEL RELLENO SANITARIO



## UBICACION S/E

## PERFIL LONGITUDINAL



ESTACAS	0	1	2	3	4	5	6
DISTANCIAS	0.000	20.000	40.000	60.000	80.000	100.000	120.000
COTA TERRENO	2721.171	2723.974	2730.429	2734.176	2734.402	2728.713	2729.259