

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de un biodigestor utilizando la vinaza para generar energía eléctrica  
y reducir el nivel de contaminación en la fábrica de alcohol Bary**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**Ingeniero Mecánico Eléctrico**

**AUTOR**

**Jossimar Manuel Meoño Incio**

**ASESOR**

**Lucio Antonio Llontop Mendoza**

<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

**Chiclayo 2021**

**Diseño de un biodigestor utilizando la vinaza para  
generar energía eléctrica y reducir el nivel de  
contaminación en la fábrica de alcohol Bary**

PRESENTADA POR:

**Jossimar Manuel Meoño Incio**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICO**

APROBADA POR

Alexander Querevalu Morante

PRESIDENTE

Luis Alberto González Bazán

SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza

VOCAL

# TESIS MEOÑO INCIO JOSSIMAR MANUEL

## INFORME DE ORIGINALIDAD

25%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

7%

★ hdl.handle.net

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

# TESIS MEOÑO INCIO JOSSIMAR MANUEL

## INFORME DE GRADEMARK

NOTA FINAL

COMENTARIOS GENERALES

/0

PÁGINA 1

PÁGINA 2

PÁGINA 3

PÁGINA 4

PÁGINA 5

PÁGINA 6

## ÍNDICE

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.2 Justificación: .....	13
1.3 Objetivos: .....	14
1.4 Formulación de hipótesis: .....	15
I MARCO TEÓRICO .....	15
2.1 Estado del arte .....	15
2.1.1 Productos similares. ....	15
2.1.2 Planteamiento del problema .....	16
2.1.3 Requerimientos del diseño .....	16
2.2 Bases teórico – científicas.....	16
2.2.1 Fases del proceso de fermentación para la producción de metano .....	16
2.2.2 Tecnologías de desulfuración.....	19
2.2.3 Distintas opciones como para aprovechar el biogás Turbina de gas:.....	20
2.3 Definición de términos .....	21
2.3.1 Contaminación: .....	21
2.3.2 Vinaza: .....	22
2.3.3 Biomasa.....	22
2.3.4 Diseño .....	30
2.3.5 Biodigestor:.....	30
2.3.6 Esquema de la secuencia de procesos del sistema anaerobio UASB.....	39

2.3.7 Tratamiento Anaerobio .....	40
III DIAGNÓSTICO Y DISEÑO: .....	43
3.1 Situación actual: .....	43
3.1.1 Estudio de vinaza .....	44
3.1.2 Listado de los equipos.....	46
3.1.3 Uso de energía eléctrica: .....	47
3.2 Selección del biodigestor. ....	47
3.2.1 Comparativa de biodigestores anaeróbicos .....	47
3.3 Diseño y cálculos. ....	50
3.3.1 Parámetros de funcionamiento:.....	50
3.3.2 Diseño: .....	54
3.4 Elección de material del reactor UASB: .....	63
3.4.1 Propiedades químicas del Biogás:.....	63
3.4.2 Elección del material a utilizar:.....	64
3.4.3 Espesor de las paredes del reactor.....	69
3.1 Generación de CH <sub>4</sub> y rendimientos del reactor .....	70
<u>3.1.1 Cálculo de CH<sub>4</sub> generado .....</u>	<u>71</u>
3.4.4 Eficiencia: .....	72
3.5 Condensador: .....	72
3.6 Desulfuración .....	75
3.6.1 Selección del Desulfurador: .....	76
3.7 Selección del generador eléctrico.....	78
3.8 Puesta en marcha:.....	81
IV IMPACTO AMBIENTAL Y EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	82
4.1 Principales impactos ambientales causados por la vinaza. ....	83

4.1.1	Afectación directa al suelo, al agua.....	83
4.1.2	Afectación directa al aire.....	83
4.1.3	Impactos ambientales actuales y los esperados.....	84
4.1.4	Datos cuantificados de la reducción de contaminantes:.....	91
4.2	Análisis costo-beneficio .....	93
4.2.1	Costos de inversión en obras civiles y estructuras:.....	93
4.2.2	Accesorios y equipos necesarios para la obtención de biogás y generación de energía eléctrica: .....	94
4.2.3	Inversiones: .....	95
4.2.4	Costo de generación del kWh: .....	97
4.2.5	Valor Actual Neto (VAN):.....	98
4.2.6	Tasa interna de retorno (TIR):.....	99
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1	CONCLUSIONES: .....	99
5.2	RECOMENDACIONES .....	100
VI.	BIBLIOGRAFÍA .....	102
<u>VII</u>	ANEXOS .....	106

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIOGÁS .....	34
TABLA 2: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS.....	49
TABLA 3: POTENCIAL DE CALENTAMIENTO DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO .....	52
TABLA 4: CAUDALES PARA EL DISEÑO .....	53
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA VINAZA.....	54
TABLA 6: LISTADO DE LOS EQUIPOS DE LA FÁBRICA.....	55
TABLA 7: TIPOS DE BIODIGESTORES .....	59
TABLA 8: VALORES DE VELOCIDAD SUPERFICIAL EN FUNCIÓN DEL CAUDAL PARA LÍQUIDOS .....	70
TABLA 9: COMPOSICIÓN APROXIMADA DEL BIOGÁS .....	77
TABLA 10: PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	82
TABLA 11: PROPIEDADES MECÁNICAS EXPERIMENTALES DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304	
TABLA 12: DESULFURADORES DE DASTEC S.R.L.....	92
TABLA 13: CÓDIGO DE COLORES DE JERARQUÍAS EN LA MATRIZ LEOPOLD .....	101
TABLA 14: INTENSIDAD DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	101
TABLA 15: EXTENSIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	102
TABLA 16: MOMENTO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	102
TABLA 17: PERSISTENCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	102
TABLA 18: REVERSIBILIDAD DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	103
TABLA 19: SINERGIA DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	103
TABLA 20: ACUMULACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	103
TABLA 21: EFECTO DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	103
TABLA 22: PERIODICIDAD DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	104
TABLA 23: RECUPERABILIDAD DEL IMPACTO AMBIENTAL .....	104
TABLA 24: IMPACTOS AMBIENTALES ACTUALES .....	105
TABLA 25: IMPACTOS AMBIENTALES LUEGO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL	

REACTOR	
UASB .....	107
TABLA 26: INVERSIÓN EN OBRAS CIVILES Y ESTRUCTURAS .....	111
TABLA 27: ACCESORIOS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	
.....	112
TABLA 29: CAPITAL DE TRABAJO .....	113
TABLA 30: INVERSIÓN TOTAL .....	113
TABLA 31: ÁREAS Y PUESTOS .....	114
TABLA 32: COSTO ANUAL PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO.....	115
TABLA 33: LISTADO DE EQUIPOS COMPLETOS DE LA FÁBRICA.....	123
TABLA 34: IMPACTO AMBIENTAL ACTUAL, OLORES.....	124
TABLA 35: IMPACTO AMBIENTAL ACTUAL. DESHECHO DE LA VINAZA .....	125
TABLA 36: IMPACTO AMBIENTAL PÓSTUMO. OPERACIÓN DE VEHÍCULOS...	126
TABLA 37: IMPACTO AMBIENTAL PÓSTUMO. LIMPIEZA DEL REACTOR UASB	127
TABLA 38: IMPACTO AMBIENTAL PÓSTUMO. EMISIONES DEL GENERADOR	128

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA DE REACCIONES DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE MATERIALES POLIMÉRICOS .....	17
FIGURA 2: MÉTODOS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA.....	29
FIGURA 3: POZO SÉPTICO .....	38
FIGURA 4: BIODIGESTOR DOMO FLOTANTE TIPO HINDÚ .....	39
FIGURA 5: BIODIGESTOR DE DOMO FIJO.....	40
FIGURA 6: BIODIGESTOR EN BOLSA DOBLE DE POLIETILENO DE BAJO COSTO, MODELO TAIWÁN.....	41
FIGURA 7: BIODIGESTOR FLOTANTE .....	42
FIGURA 8: DIGESTOR CON TANQUE DE ALMACENAMIENTO TRADICIONAL Y CÚPULA DE POLIETILENO .....	43
FIGURA 9: ESQUEMA GENERAL DE UN REACTOR UASB .....	44
FIGURA 11: FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR UASB .....	46
FIGURA 12: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA ANAERÓBICO UASB.....	46
FIGURA 10: TRATAMIENTOS ANAEROBIOS. (A) LAGUNA ANAEROBIA, (B) FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE, (C) REACTOR DE LECHO FIJO .....	48
FIGURA 13: ESQUEMA DE UN REACTOR ANAERÓBICO UASB.....	61
FIGURA 14: ESQUEMA BÁSICO DE UN REACTOR DE FLUJO ASCENDENTE UASB .....	65
FIGURA 15: ESQUEMA DE LA CAMPANA DE SEPARACIÓN GAS-LÍQUIDO ...	76
FIGURA 16: REDUCTORES DE HUMEDAD Y CONDENSADOS .....	87
FIGURA 17: ELIMINACIÓN DEL AGUA POR CONDENSACIÓN .....	88
FIGURA 18: FILTRO POR CAJAS PURGADORAS AUTOMÁTICAS.....	89
FIGURA 19: PANTA BIOLÓGICA DE DESULFURACIÓN.....	90
FIGURA 20: DESULFURACIÓN A PARTIR DE LA INYECCIÓN DE OXÍGENO EN LA CÁMARA DE BIOGÁS .....	91
FIGURA 21: DESULFURADOR AWIDESULF 100/200.....	93

FIGURA 22: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS GENERADORES A BIOGÁS .....	95
FIGURA 23: GENERADOR MODELO AQL.....	96
FIGURA 24: GENERADORES SIN GABINETE .....	96

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo, establecer el diseño de un biodigestor utilizando la vinaza para generar energía eléctrica y reducir el nivel de contaminación en la fábrica de alcohol Bary. Y es que en el desarrollo de la producción de alcohol en el proceso de destilación que maneja la melaza de caña, generada por los mismos ingenieros que laboran dentro del ámbito del azúcar, es que se forma un subproducto que se conoce como la vinaza, el cual tiene una diversidad de propiedades y componentes que juntos generan cualidades especiales, y su descarga indiscriminada puede causar serios problemas para el medio ambiente.

La vinaza es un efluente que se produce en las fábricas de alcohol, los cuales no son aprovechados y son vertidos hacia los cuerpos receptores (drenes, desagües, ríos, riachuelos), motivo por el cual el presente tema de investigación trata de aprovechar estos grandes desperdicios para darle una posterior utilidad dentro del proceso industrial.

En este proyecto de investigación se diseñó un biodigestor que aproveche la vinaza desechada por la fábrica de alcohol para generar biogás a través de la biodegradación de esta, por medio de microorganismos u pequeñas formas de vida y otros factores, considerando la ausencia de oxígeno. Este combustible se utilizará como fuente principal en un grupo electrógeno para para generar energía eléctrica disminuyendo los costos y el impacto ambiental. El biodigestor a utilizar será un reactor UASB, ya que este biodigestor nos brinda muchas ventajas en el sector industrial respecto a otros biodigestores.

**Palabras clave: Biogás, Abastecimiento Energético Sustentable, Matriz Energética Diversificada.**

## ABSTRACT

During the process of producing alcohol in the distillery, which uses as raw material the molasses of the sugar cane, supplied by the sugar mills, a by-product known as vinaza is generated, which has a great variety of components that together and the Special features and their indiscriminate discharge can cause damages to the environment.

Vinasse is an effluent that occurs in alcohol factories, which are not used and are discharged to the receiving bodies (drains, drains, rivers, streams), which is why the present research topic tries to take advantage of these large Waste to give it a later use within the industrial process.

In this research project was designed a biodigester that took advantage of the vinasse discarded by the alcohol factory to generate biogas through the biodegradation of this, through the action of microorganisms and other factors, and the absence of oxygen. This fuel is used as the main source in a generator to generate electricity, reducing costs and environmental impact. The biodigester to be used will be a UASB reactor, as this biodigester gives us many advantages in the industrial sector compared to other biodigesters.

**Keywords: Biogas, Sustainable Energy Supply, Diversified Energy Matrix.**

## **I. INTRODUCCIÓN**

En este estudio investigativo, se propondrá el desarrollo de un biodigestor diseñado para aprovechar la vinaza, un subproducto desechado por la fábrica de alcohol. El objetivo es generar biogás mediante la biodegradación de la vinaza, utilizando microorganismos y otros factores en un entorno libre de oxígeno. El biogás producido se empleará como la principal fuente de combustible para alimentar un grupo electrógeno, con el fin de generar energía eléctrica. Esto permitirá reducir los costos asociados y el impacto ambiental de la planta al aprovechar de manera más eficiente los residuos y generar energía de forma sostenible

### **1.1 Planteamiento del problema**

En Lambayeque (región del Perú), se cuenta con empresas dedicadas a la elaboración de alcohol etílico. Estas empresas originan gran contaminación al medio ambiente a través de la descarga indiscriminada de la vinaza al medio ambiente, el cual es un efluente que en la mayoría en estas empresas no son tratadas, la empresa donde se va a realizar el estudio desperdicia un aproximado de 140 a 150 toneladas de vinaza diariamente; siendo una alternativa su tratamiento y posterior utilización como una fuente para generar energía eléctrica.

La presente investigación consiste en aprovechar este efluente mediante el diseño de un biodigestor el cual generará biogás y este será el combustible principal de un generador de energía eléctrica de este modo también disminuirémos el impacto ambiental que genera la fábrica de alcohol.

### **1.2 Justificación:**

- **Justificación Social:**

A través de esta investigación se presenta, se plantea opciones para que otras organizaciones u empresas dedicadas a las actividades agroindustriales, que producen residuos con elevadas cargas orgánicas puedan introducirse en la investigación del aprovechamiento de estos para disminuir el impacto ambiental

y poder usar criterios de ecoeficiencia, implementando en sus empresa la utilización de energía alternativa.

Al implementar este biodigestor se beneficiará directamente a los pobladores que viven alrededor del dren por donde se vierten la vinaza, ya que al no ser vertidos por ese canal aumentará la calidad de aire y lo malos olores, que causa la vinaza al aumentar su temperatura, ya no existirán.

- **Justificación Económica:**

La justificación en el ámbito económico se sustenta en que con el biodigestor se podrá aprovechar la vinaza que la fábrica de alcohol Bari deshecha, causará un gran impacto en la economía de la empresa, ya que se podrá apreciar un mayor ahorro en relación con la electricidad.

- **Justificación Tecnológica:**

La tecnología con respecto a los biodigestores ha avanzado a pasos agigantados, permitiéndose ser una solución viable, tanto económica como medio ambientales, para un mayor aprovechamiento en lo que consta a los residuos de carácter orgánico y darle un mejor uso para así causar un efecto positivo al medio ambiente.

- **Justificación Ambiental:**

La vinaza que es vertida actualmente en los drenes causa un gran daño a los suelos, aire y la forma de vida de las personas. Y es que en este estudio se aprovechará al 100 % toda la vinaza para biodegradarlo y así generar energía eléctrica, teniendo como efecto secundario positivo el retirar de los drenes el tan dañino y oloroso fluido.

### 1.3 **Objetivos:**

#### Objetivo general:

Se propone la creación de un biodigestor que emplee la vinaza como fuente para producir energía eléctrica, con el objetivo de disminuir el grado de

contaminación en la fábrica de alcohol Bary.

Objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico de la situación presente en la fábrica de alcohol Bary..
- Diseñar el biodigestor de acuerdo a la cantidad de vinaza vertida.
- Determinar la cantidad de gas generado y selección del generador eléctrico.
- Examinar los efectos de la implementación de este sistema en la industria del alcohol, tanto en la disminución de la contaminación como en sus beneficios económicos.

**1.4 Formulación de hipótesis:**

La utilización de la vinaza en el proceso de biodigestión producirá la cantidad necesaria de energía eléctrica para cubrir la demanda energética de la fábrica de alcohol.

**I MARCO TEÓRICO**

**2.1 Estado del arte**

**2.1.1 Productos similares.**

En su estudio "Biodegradación anaeróbica de la vinaza generada en la destilería soderal y aprovechamiento energético del biogás como estrategia para mitigar el impacto de los gases de efecto invernadero", ingenieros Molina y Becerra (2012). Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil.

En la Revista Aqua Limpia, Moncayo Romero “Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás”, establece pautas de cómo realizar un dimensionamiento y diseño de biodigestores adecuado, nos proporciona las fórmulas necesarias además de ser de fácil entendimiento para los lectores.

- Revista: Gobierno de Chile- ministro de Energía “Manual del Biogás”

Nos brinda información concreta y clara de los beneficios del biogás, de esta revista se sacará información sobre sus aplicaciones, artefactos y adaptaciones necesarias.

También esta revista desarrolla el tema de los biodigestores también de forma clara y concreta.

Revista ICIDCA, Sobre los Derivados de la Caña de azúcar.

Esta revista está especializada en los derivados de caña de azúcar, en este caso trata el tema de “Tratamiento de vinazas en reactores UASB” y nos brinda información sobre los reactores UASB y su dimensionamiento a una escala de hectolitros.

### **2.1.2 Planteamiento del problema**

¿Es factible diseñar un biodigestor utilizando la vinaza para generar energía eléctrica en la fábrica de alcohol?

### **2.1.3 Requerimientos del diseño**

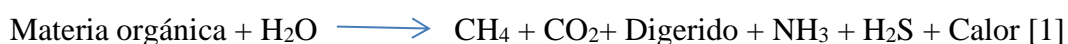
- Se requerirá una óptima cantidad de vinaza en producción máxima.
- Composición de la vinaza.
- Datos de la potencia que consume la fábrica de alcohol.

## **2.2 Bases teórico – científicas**

### **2.2.1 Fases del proceso de fermentación para la producción de metano**

En la publicación "Manual de Biogás" preparada por la Prof. María Teresa Varnero Moreno y editado por: Ministerio de Energía "Chile", 2011.

El proceso anaeróbico se sustenta en la materia viva a través de pequeños organismos en que la inexistencia de oxígeno prevalece, como parte del proceso de degradación, fomentando ello lo que es metano, CO<sup>2</sup> y otros elementos, y es que, con dicho método, se puede dar un gas con elevado contenido de metano y materia sólida como residuo, que puede ser manejado y usado como fertilizante dentro del campo agrícola, y es que dicha conversión se desenvuelve de la siguiente manera:



La digestión anaeróbica es un desarrollo bastante difícil y complejo, ya sea por la

cantidad de reacciones de índole bioquímica que tiene espacio por la cantidad de pequeños organismos vinculados a ello, y es de acuerdo a ello dicho proceso se da de manera simultánea.

Los análisis bioquímicos y microbiológicos clasifican la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas. [2]:

- I. Hidrólisis
- II. Fase fermentativa
- III. Fase acetogénica
- IV. Fase metanogénica

En la primera fase, se lleva a cabo la hidrólisis de moléculas y partículas, incluyendo proteínas, carbohidratos y lípidos, mediante enzimas producidas por microorganismos extracelulares. Como resultado de esta reacción, se obtienen compuestos más simples y solubles, como aminoácidos y ácidos grasos, que son metabolizados por bacterias acidogénicas para producir ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno y CO<sub>2</sub>.

Los ácidos grasos de cadena corta se convierten en ácido acético, CO<sub>2</sub> e hidrógeno a través de la acción de microorganismos más pequeños. Finalmente, los microorganismos metanogénicos utilizan el ácido acético para producir metano.

### **Hidrólisis**

La hidrólisis impide que la materia orgánica de naturaleza polimérica sea utilizada directamente. de manera directa por pequeños organismos a menos que pasen por el proceso de hidrolización en lo que respecta a elementos solubles, que tengan la capacidad de poder traspasar las paredes celulares, y es que dicho proceso es la primera fase para que se desenvuelva la descomposición anaeróbica de compuestos orgánicos.

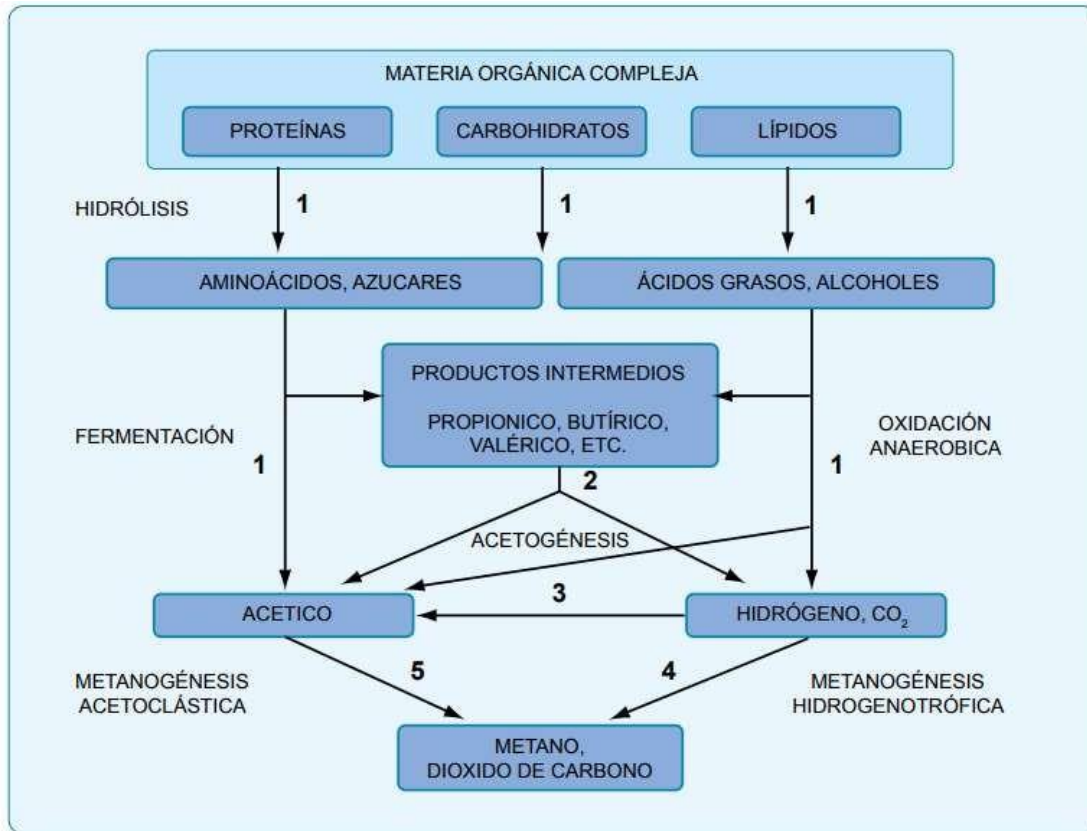


Figura 1: Representación de las reacciones involucradas en la descomposición anaeróbica de materiales poliméricos

Fuente: Manual del Biogás.

Todo sustrato se encuentra compuesto por tres categorías fundamentales de macromoléculas: carbohidratos, proteínas y lípidos.

La degradación de materiales lignocelulósicos tiene como parte de su contenido lo que es la lignina, la hemicelulosa y la celulosa, considerando que esta es lenta y puede ser considerada la etapa limitada del desarrollo de la hidrólisis. Este fenómeno se debe a la resistencia que presenta la lignina ante la descomposición realizada por los microorganismos anaeróbicos, lo cual afecta la biodegradabilidad. En ese sentido, la hidrólisis aumenta juntamente con la temperatura. [2]

### **Fase fermentativa o acidogénica.**

El proceso de la descomposición de moléculas mediante fermentación de índole orgánica puede ser manejadas por bacterias metanogénicas y elementos con vida más pequeños que tienen que pasar por el proceso de oxidación por bacterias y es que la relevancia de dichas bacterias no solo es por el motivo de la producción de alimentos para bacterias, además, eliminan cualquier rastro de oxígeno disuelto.

### **Fase acetogénica**

Los productos del proceso de fermentación pueden metabolizados de forma directa por organismos como  $H_2$  y acético, otros compuestos, como el etanol y los ácidos grasos, necesitan ser convertidos en productos menos complejos, mediante la acción de bacterias acetogénicas.

Y es que, según estudios, el resultado producto del metabolismo ya que permitió mantener bajas parciales del hidrogeno ya que permitió el desarrollo de bacterias de carácter acidogénica y acetogénicas.

### **Etapa metanogénica**

Un amplio número de bacterias anaeróbicas de manera estricta, esta se desarrolla de acuerdo con elementos que han sido resultados de etapa precedentes, y es que los microorganismos metanogénicos son considerados como los más relevantes dentro de los pequeños organismos anaeróbicos que tienen la responsabilidad de producir metano.

Acetato,  $H_2 / CO_2$ , formiato, metanol y diversas metilaminas son ejemplos de sustratos que los microbios metanogénicos utilizan para producir metano, que pueden actuar como sustratos.

#### **2.2.2 Tecnologías de desulfuración**

En general, las tecnologías de desulfuración pueden dividirse en tres categorías en función del lugar del proceso de combustión de los combustibles fósiles en el que se utilicen, como se ve en la Figura 1:

- Etapa de pre – combustión.
- En el proceso de combustión.
- Etapa post – combustión.

La desulfurización de combustión hace referencia al trato del proceso químico del combustible en la etapa previa de introducido en el horno o caldera siendo la más conocida el hidrotratamiento (HDT) o hidrosulfuración (HDS), que se sustenta en el poder someter un combustible de forma líquida a presión y temperatura (~150-160 psi y 300-400 °C), con un catalizador sólido de carácter bimetálico de manera que los compuestos orgánicos sulfurados dentro de dicho combustible son modificados a sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S).

### **2.2.3 Distintas opciones como para aprovechar el biogás**

#### **Turbina de gas:**

La capacidad de las turbinas de gas para adaptarse eficazmente a las características del biogás, permitiéndoles operar con altos niveles de H<sub>2</sub>S y bajas concentraciones de CH<sub>4</sub>, la diferencia de otras formas de generación de energía. Funcionan con gran flexibilidad y tienen una buena relación potencia-peso-volumen. Además, se ponen en marcha rápidamente y alcanzan su potencia nominal, también conocida como carga máxima. También emiten pocos NO<sub>x</sub> a la atmósfera.

Los dos inconvenientes que hacen que este motor no encaje en nuestro proyecto son su elevado régimen de giro y su eficiencia reducida (30-35%) en comparación con otros motores diésel. [1, p. 5]

#### **Celdas de combustibles:**

Debido a su alta eficiencia, impacto ambiental mínimo y bajo consumo, las celdas de combustible son consideradas una tecnología prometedora para la producción conjunta de generación de electricidad utilizando biogás.

Este método de producción de energía tiene un defecto flagrante que lo elimina de nuestra lista de opciones viables: requiere un biogás de pureza media-alta, esto implica

una inversión considerablemente mayor en la producción de biogás debido a la necesidad de una separación de residuos más rigurosa con maquinaria más avanzada, así como la utilización de un reactor de tecnología más sofisticada y costosa.

Además, el alto nivel tecnológico necesario para construir los componentes de la pila de combustible los encarece. [1, p. 5]

### **Turbina de vapor:**

La eficiencia alcanzada al utilizar biogás como combustible externo para generar electricidad mediante turbinas de vapor es significativa (puede alcanzar el 40%), superior a la de una turbina de gas o un motor, y puede incrementarse eliminando el vapor y utilizando ciclos combinados al tiempo que se aprovechan los gases de combustión del biogás utilizados en las calderas.

El montaje de una central térmica, que conlleva calderas, condensadores, sobre calentadores, desgasificadores, desmineralizadores de agua, torres de refrigeración, y otros, la hace inviable para una potencia, como la que tenemos disponible para nuestro caso, ya que el coste por kilovatio generado será elevado debido a la inversión que este tipo de centrales requiere. [1, p. 6]

## **2.3 Definición de términos**

### **2.3.1 Contaminación:**

La presencia o asimilación de sustancias o materiales venenosos y nocivos para las personas o los ecosistemas constituye contaminación (seres vivos). Existen distintos tipos de contaminación. Los tres recursos naturales fundamentales -aire, suelo y agua- se ven afectados por los tipos de contaminación más significativos. Las fugas radiactivas, la niebla tóxica, el fenómeno del calentamiento global y la acidificación de las precipitaciones, el agotamiento de la capa de ozono, la eutrofización del agua y las mareas negras son algunas de las modificaciones ambientales más serias severas causadas por los fenómenos contaminantes. Como hemos demostrado, estos tres recursos naturales

cruciales se ven afectados por la vinaza que se vierte en los desagües, por lo que el tratamiento de este contaminante es absolutamente esencial. [4]

### **2.3.2 Vinaza:**

La vinaza es una sustancia líquida que se crea cuando se produce etanol, ya sea directamente utilizando los jugos extraídos de la caña de azúcar o mediante la destilación de melazas fermentadas. Debido a su origen en plantas de caña de azúcar, su composición elemental debe ser idéntica a la de la materia prima. Es un compuesto orgánico líquido que puede incluir contaminantes formados por componentes procedentes de los procesos de fermentación y extracción del jugo. En ningún caso puede contener componentes adicionales o extraños, venenos o metales pesados.

Es muy eficaz en la utilización de la luz y el agua para ingerir CO<sub>2</sub> y crear azúcares, lo que le permite absorber una cantidad importante de potasio. La caña de azúcar es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas con un mecanismo fisiológico C<sub>4</sub>. Dado que esa naturaleza suele degradar estas sustancias mediante procesos microbianos y recicla los componentes minerales, es lógico que el último lugar de reposo de la vinaza sea el suelo. [5]

### **2.3.3 Biomasa**

#### **2.3.3.1 Definición**

El concepto de "biomasa" hace referencia a la energía solar capturada por la vegetación durante la fotosíntesis, que se convierte en materia orgánica y puede ser utilizada directamente como fuente de energía al ser quemada para su recuperación o convertirse en otros combustibles.

En general, cualquier sustrato puede utilizarse para producir biomasa siempre que esté compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa, proteínas, carbohidratos y lípidos.

La conversión de materia orgánica en una fuente de combustible. se conoce como

biomasa. Por su amplia definición, la biomasa incluye una variedad de materia orgánica que difiere en origen y naturaleza. También se distingue por su heterogeneidad.

### **2.3.3.2 La biomasa como una opción para obtener energía**

Se denomina biomasa al conjunto de elementos orgánicos que pueden utilizarse para producir energía y que son heterogéneos en cuanto a su origen, naturaleza y contenido. La utilización de materia orgánica recién producida o de materiales generados a partir de ella sirve de base para esta fuente de energía. En consecuencia, dentro de la definición de biomasa se encuentran la materia orgánica proveniente de aguas residuales, los lodos de depuradora y la porción biodegradable de los residuos sólidos urbanos., a pesar de que estos residuos suelen considerarse por separado debido a sus propiedades únicas. Al transformarse en componentes sólidos, líquidos y gaseosos, la biomasa puede producir energía. [7]

### **2.3.3.3 Clasificación**

Ésta se puede clasificar, según su origen:

#### **Biomasa natural:**

La conservación del medio ambiente y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales no son incompatibles, pueden coexistir de manera armoniosa y complementaria. La biomasa natural es aquella que se genera de manera espontánea y sin intervención humana en la naturaleza, sin ayuda de la actividad humana.

#### **Biomasa residual:**

Incluye los residuos procedentes de la silvicultura y la agricultura, los desechos generados por estas industrias, los residuos urbanos y los materiales biodegradables, como los efluentes ganaderos, los lodos de depuradora, las aguas residuales, los residuos de empresas con una elevada carga orgánica, etc. [6].

#### **2.3.3.4 Procesos de transformación de biomasa en energía**

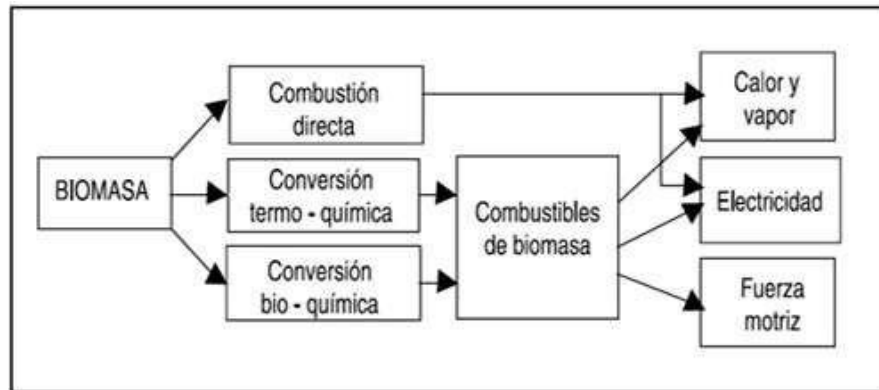
La biomasa debe transformarse en una forma más fácil de transportar y utilizar antes de que pueda emplearse como energía. Con frecuencia, la biomasa se transforma en formas derivadas como energía, gas, etanol, briquetas, carbón vegetal y briquetas.

#### **Métodos de combustión directa de biomasa**

Ésta sigue siendo la forma más convencional y común de utilizar la biomasa como fuente de energía. Los sistemas de combustión directa generan calor que puede utilizarse inmediatamente para tareas como la preparación de comidas o el secado de productos agrícolas.

También puede utilizarse para producir vapor y electricidad para su uso en procesos industriales. Las estufas, los hornos y las calderas son ejemplos de sistemas sencillos que utilizan la tecnología de combustión directa. Además, existen métodos más avanzados, como la combustión en lecho fluidizado. Los métodos tradicionales suelen ser muy ineficaces porque gran parte de la energía emitida se desperdicia y puede provocar contaminación si no se hace en un entorno controlado.

El uso de pequeños trozos de madera y el cuidado regular del fuego con pequeñas cantidades de leña aumenta la eficiencia de los procesos industriales al favorecer una combustión más completa. Por ejemplo, disminuyendo la pérdida de energía causada por la evaporación de agua secando la biomasa antes de utilizarla. Los hornos, por ejemplo es posible mejorar mediante la regulación del flujo de aire para lograr una combustión más completa y mediante la incorporación de aislamiento para prevenir la disipación de calor. [8].



*Figura 2: Formas de transformar biomasa en energía*

*Fuente: <http://www.energiza.org/index.php/biomasa-2/56-procesos-de-conversion-de-biomasa-en-energía>*

### **Densificación:**

Con el fin de simplificar su utilización, almacenamiento y transporte., la biomasa se comprime en "briquetas". Las briquetas se utilizan en entornos domésticos, industriales y comerciales. El material de entrada, que se tritura a alta presión, La biomasa utilizada para estos fines puede incluir aserrín, desechos agrícolas o partículas de carbón vegetal. [8].

### **Métodos Termoquímicos:**

Los métodos termoquímicos se fundamentan en el uso del calor como principal medio de transformación de la biomasa. Estos procesos están altamente desarrollados para la biomasa seca, particularmente para la paja y la madera. [8].

#### **a) Combustión:**

Durante la oxidación completa de la biomasa por el oxígeno del aire a temperaturas adecuadas, se liberan agua, dióxido de carbono, cenizas y calor como productos finales del proceso entre 800 y 1000 C. Este último se emplea para la creación de electricidad o para calentar espacios residenciales o comerciales [8].

Las parrillas pueden ser de diferentes tipos: fijas, horizontales, inclinadas, móviles o vibratorias y éstos son los métodos más utilizados comercialmente para llevar a cabo la combustión. Aunque se introducen cambios significativos en el diseño para adaptar las calderas de parrilla de biomasa al nuevo combustible, por lo demás son idénticas a las utilizadas con combustibles tradicionales, como el carbón. La geometría de la cámara de combustión y la configuración de las superficies de intercambio son dos ejemplos de estas alteraciones.

La tecnología de lecho fluidizado se ha popularizado recientemente y ahora se utiliza tanto en instalaciones térmicas como termoeléctricas. El tipo burbujeante es la forma más común, ya que es más viable económicamente en instalaciones de tamaño moderado, como las instalaciones de biomasa.

La ventaja de la tecnología de lecho fluidizado es que funciona a temperaturas más bajas, lo que disminuye la formación de escorias y las emisiones de óxido de nitrógeno. [8]

#### **b) Pirólisis:**

Se refiere a la combustión parcial de biomasa a una temperatura aproximada de 500 °C en condiciones anaeróbicas, es decir, sin oxígeno. El carbón vegetal se fabrica a partir de ella desde hace mucho tiempo. Además, con esta técnica se obtiene un gas pobre, una mezcla compuesta por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>) e hidrocarburos ligeros. Este gas puede alimentar motores diésel, generar electricidad o propulsar automóviles a pesar de su bajo poder calorífico. [8]

#### **c) Pirólisis Flash:**

Se trata de un tipo de pirólisis que el proceso se realiza a una temperatura más elevada, aproximadamente 1.000 °C y la ventaja de realizar el proceso a una temperatura más alta es que garantiza una gasificación prácticamente completa de la biomasa.

Los generadores de gas son dispositivos utilizados para llevar a cabo la pirólisis y

gasificación de la biomasa. El gas pobre producido puede emplearse directamente o ser utilizado como punto de partida para sintetizar metanol, el cual podría reemplazar a la gasolina en los motores de combustión interna (conocido como carburo). [8]

#### **d) Gasificación:**

Es una combustión incompleta de biomasa que tiene lugar a altas temperaturas (700-1200 °C), aunque normalmente a temperaturas más bajas que la combustión. El gas de combustión consiste en una combinación de hidrógeno, metano y monóxido de carbono es el principal producto final. Este gas tiene un valor calorífico de unos 4 MJ/Nm<sup>3</sup>.

En comparación con la combustión en caldera, la gasificación es más eficaz. El rendimiento puede aumentarse a niveles superiores al 30% quemando el gas producido en motores diésel o turbinas de gas, pero no es una opción habitual.

El agente de gasificación empleado en los procedimientos convencionales es el aire, aunque ocasionalmente se añade aire enriquecido con oxígeno para aumentar el poder calorífico del gas resultante.

La combustión en caldera puede sustituirse por la gasificación, que es más eficaz. El rendimiento puede incrementarse hasta valores superiores al 30% empleando motores diésel o turbinas de gas para la combustión del gas generado., aunque no es una opción habitual.

El agente gasificante en los procedimientos convencionales es el aire, aunque también puede emplearse ocasionalmente aire enriquecido con oxígeno para aumentar el poder calorífico del gas resultante.

#### **Métodos Bio-químicos**

Estos procedimientos emplean las propiedades bioquímicas de la biomasa y la actividad metabólica de microorganismos para generar combustibles en forma de gas y líquido. Son especialmente adecuados para convertir biomasa con alto contenido de

humedad, a diferencia de los procesos termoquímicos. Los métodos más significativos son: [8]

### **a) Digestión anaeróbica**

El biogás se crea cuando las bacterias descomponen la biomasa humedecida en condiciones sin oxígeno (anaeróbicas). En el procedimiento, la biomasa (a menudo residuos animales) La biomasa se coloca en un contenedor sellado conocido como "digestor" y se le permite fermentar durante varios días. El tipo de gas producido en este proceso, que es una combinación de metano y dióxido de carbono, depende de la temperatura ambiente.

Dependiendo de la temperatura ambiente, al cabo de unos días se habrá creado un gas que es una mezcla de metano y dióxido de carbono. El material sobrante del digestor constituye un excelente fertilizante orgánico. Los digestores han recibido mucha atención en China e India como sustituto de la leña para uso doméstico. [8]

### **b) Biodiesel**

El biodiésel se elabora a partir de aceites vegetales, los cuales contienen ácidos grasos y ésteres alquílicos en su composición, grasas animales y grasas recicladas, a diferencia del etanol, que es una bebida alcohólica. Los aceites generados orgánicamente se someten a un procedimiento llamado "transesterificación", en el que se lleva a cabo una mezcla de los aceites vegetales con alcohol (ya sea etanol o metanol) y experimentan una transformación química. Éstos pueden utilizarse como combustible en motores típicos, solos o combinados con gasóleo. Normalmente, el biodiésel se añade al gasóleo en una proporción del 20%, pero pueden ser útiles diversas proporciones en función del precio del combustible base y de las ventajas previstas. [8]

### **c) Términos sobre la biomasa**

#### **¿Qué es el biogás?**

El biogás es una mezcla gaseosa que principalmente contiene metano y dióxido de

carbono, junto con otros contaminantes. Su composición varía según el material digerido y el proceso de desarrollo utilizado. Para ser utilizado como combustible, el biogás debe tener un contenido de metano superior al 45%. Estas características únicas del biogás se enumeran en la siguiente tabla. [2]

*Tabla 1: Características generales del biogás.*

Composición	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6,0 – 6,5 kW h m <sup>3</sup>
Equivalente de combustible	0,60 – 0,65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 kg kmol <sup>-1</sup>

*Fuente: Manual del biogás. Santiago de Chile (2011)*

### ¿Cuál es la definición de combustibles fósiles?

Los aceites vegetales forman un grupo significativo de biocombustibles que tienen el potencial de reemplazar o sustituir, directamente o mediante procesos químicos más sencillos, a los combustibles fósiles.

Varios árboles y arbustos, semillas los cuales se utilizan para fabricar aceites, crecen en vastas regiones secas con terrenos de baja fertilidad, en áreas con escasa presencia de cultivos de cereales y procesos de fermentación alcohólica es poco práctica. Esto hace favorable el uso generalizado de aceites como combustible, dado que tiene el

potencial de reducir la escasez de energía en naciones con menor desarrollo económico más de lo que lo hace el uso de alcohol. [6]

#### **2.3.4 Diseño**

La acción de crear y desarrollar algo nuevo para uso humano (un objeto, proceso, servicio, conocimiento o entorno) se denomina diseño. El plan o propuesta final establecido como resultado del proceso de diseño se denomina diseño. El proceso involucra diversas fases, que incluyen: observación, investigación, evaluación, ensayo-error, ajustes y modelización (física o virtual mediante programas informáticos de diseño en dos o tres dimensiones). [9]

#### **2.3.5 Biodigestor:**

Los digestores de residuos químicos o biodigestores tienen una forma más sencilla; se trata de recipientes cerrados, herméticos e impermeables (denominados reactores), en cuyo interior se deposita la materia orgánica a fermentar en una dilución determinada de agua para que mediante fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes naturales con altos contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio. [6]

#### **Características del biodigestor**

Para que un digestor de residuos orgánicos funcione correctamente, debe reunir las siguientes cualidades [2]

- Para prevenir la pérdida del biogás generado, es esencial mantener los sistemas herméticos para evitar la entrada de aire, que podría interferir con la digestión anaeróbica.
- Para evitar oscilaciones bruscas de temperatura, deben estar aislados térmicamente, lo que suele conseguirse construyéndolos bajo tierra.
- Es necesario incorporar una válvula de seguridad en el recipiente principal de gas, incluso si este no es de alta presión.
- Proporcionar equipos para la introducción y extracción de materia orgánica y productos en el sistema.
- Facilitar la entrada para realizar labores de mantenimiento.
- Poseer la capacidad de romper las costras existentes o de nueva creación.

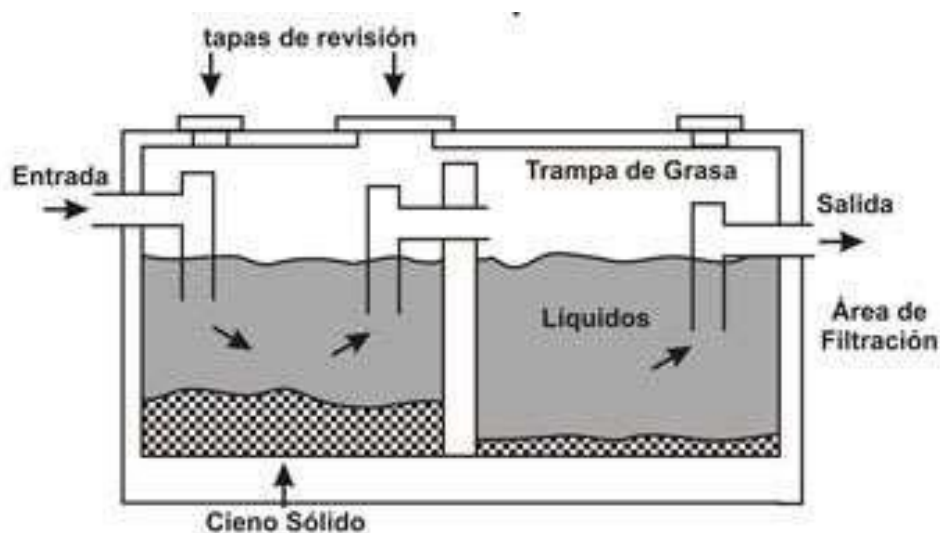
## Diversas categorías de biodigestores

Existen numerosas variedades de plantas de biogás, aunque las más frecuentes son el dosel flotante (modelo indio) y el domo fijo (modelo chino).

La limitada aceptación de muchos de estos biodigestores se ha atribuido principalmente a los elevados costos, la dificultad en su instalación y las dificultades para obtener las piezas y repuestos necesarios. [10].

## Sistemas de tratamiento de aguas residuales sépticas.

Es el digestor anaeróbico más tradicional y sencillo que se utiliza actualmente para eliminar las aguas residuales provenientes de actividades y uso doméstico. Separar las aguas residuales que ingresan a estos pozos de las que contienen jabón o detergentes. es una necesidad crucial para su correcto funcionamiento. Debido a que los jabones y detergentes tienen un efecto específico en la actividad metabólica de las bacterias, los pozos se obstruyen rápidamente y dejan de funcionar, lo que hace necesario desatascarlos repetidamente para restablecer su funcionalidad. [10]



*Figura 3: Pozo séptico.*

*Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-4sas.htm>*

### Biodigestor de domo flotante

Este biodigestor está compuesto por un cilindro de acero que posteriormente se sustituyó por otro de plástico reforzado con fibra de vidrio para solucionar el problema de la corrosión. Para construir el fondo y las paredes laterales del reactor se suele utilizar ladrillo, mientras que ocasionalmente se emplea refuerzo de hormigón. Bajo una cubierta flotante que se desplaza a lo largo de una guía central, se contiene el gas producido. Este biodigestor opera con una presión estable y es muy fácil de utilizar, diseñado especialmente para ser manejado por campesinos con escasa formación. A través de un tubo de entrada, el reactor se alimenta continuamente [10].

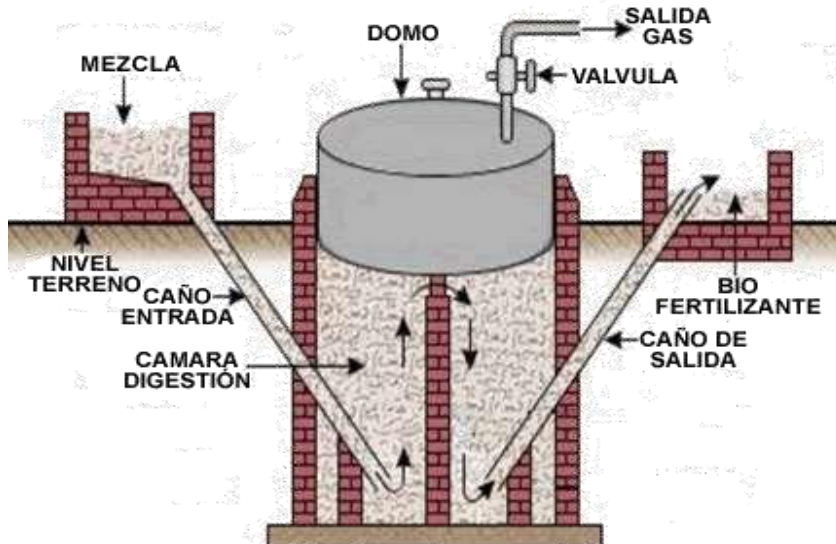


Figura 4: Biodigestor domo flotante tipo Hindú.

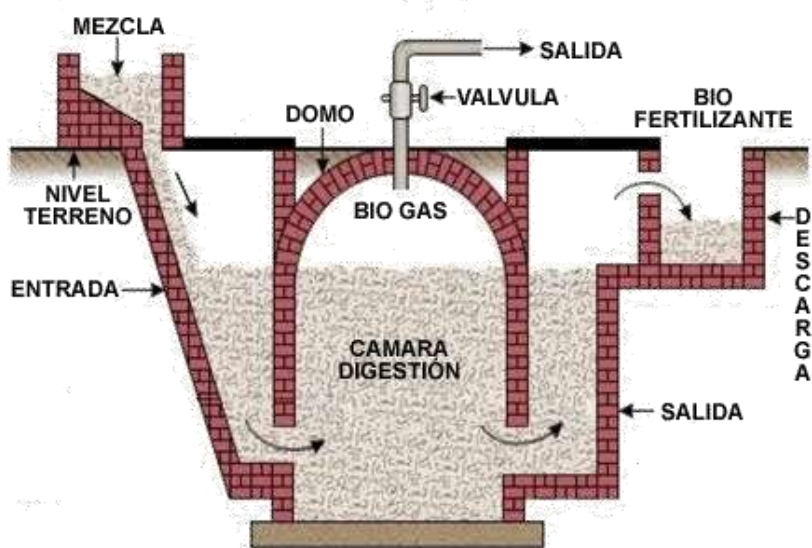
Fuente: [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/676/otras\\_energias/biogas/biog\\_c3.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c3.htm)

### Biodigestor con una estructura de domo fijo.

Este tipo de biodigestor se compone de una cámara de gas sólida construida con materiales como hormigón, piedra o ladrillo. Su diseño incluye una cubierta y una base formadas por semiesferas unidas mediante bordes rectos. Con el propósito de asegurar su solidez, el interior

de la superficie se sella utilizando múltiples capas delgadas. En la parte superior del digestor se encuentra un tapón de inspección que permite un acceso sencillo para realizar la limpieza. Bajo la cúpula, el gas generado durante el proceso de digestión se mantiene a presiones de 1 a 1,5 columnas de agua. Las fuerzas estructurales resultantes, bastante fuertes, son las que dan al objeto su forma semiesférica. Este tipo de biodigestor requiere una costosa mano de obra humana y materiales de construcción de alta calidad.

Con mantenimiento, esta instalación tiene la ventaja de una larga vida útil (una media de hasta 20 años). [10]



*Figura 5: Biodigestor con una estructura de domo fijo*

*Fuente:*

[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/676/otras\\_energias/biogas/biog\\_c3.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c3.htm)

*m*

### **Biodigestor de estructura flexible**

El elevado coste de construcción de los biodigestores de estructura fija era un factor disuasorio para los escasos ingresos de los pequeños agricultores. Esto inspiró a los ingenieros de la provincia de Taiwán en la década de 1960 para crear biodigestores utilizando

materiales flexibles menos caros (FAO, 1992). Al principio se utilizaron el neopreno y el nailon, pero resultaron ser materiales bastante caros. Más tarde, el polietileno (a menudo una lámina de plástico utilizada en los invernaderos), menos costoso, ocupó su lugar y, en la actualidad, América Latina, Asia y África son las regiones donde el polietileno se utiliza con más frecuencia.

En este biodigestor, el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, que está parcialmente llena de biomasa en fermentación. La bolsa se infla gradualmente con una presión de funcionamiento baja, ya que no se debe exceder la presión de trabajo establecida para ella. [10]



*Figura 6: Biodigestor en bolsa doble de polietileno de bajo costo, modelo Taiwán.*

*Fuente: [https://bioreactorcrc.files.wordpress.com/2011/03/clip\\_image0061.png](https://bioreactorcrc.files.wordpress.com/2011/03/clip_image0061.png)*

### **Biodigestor flotante**

Los biodigestores pueden ser colocados flotando en cualquier superficie de agua, con la mitad de su apertura enterrada por encima del nivel más alto del agua.. La salida de los biodigestores debe fijarse a un objeto flotante, como un coco seco o un recipiente de plástico. Esta es una ventaja recientemente descubierta del polietileno tubular. Más del 5% de los biodigestores flotantes de Vietnam se encuentran en estanques, lo que facilita su instalación, normalmente en lugares con terrenos agrícolas limitados. [10].



*Figura 7: Biodigestor flotante*

*Fuente: <http://www.taringa.net/post/ecologia/6026908/Biodigestor-Una-forma-de-ayudar-a-la-Tierra.html>*

### **Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno**

Otra variante de planta de producción de biogás que ha logrado reducir los costos en un 30% en comparación con los modelos tradicionales es la que se distingue por tener un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillos y una estructura de polietileno de capa semiesférica fina en lugar de la campana móvil y la cúpula fija. La principal ventaja de este tipo de instalación es su mayor accesibilidad en comparación con los sistemas convencionales. Por ejemplo, una instalación de 4 m<sup>3</sup> puede costar alrededor de 550 dólares, gracias a la estructura flexible de polietileno. [10]



*Figura 8: Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.*

*Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/ENERGIA22/HTML/articulo04.htm>*

### **Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB)**

El Upflow Anaerobic Sludge Blanket o Reactor de Manto de Lodos Anaeróbico de Flujo Ascendente, conocido como U.A.S.B., es una técnica belga y holandesa utilizada especialmente para tratar aguas residuales con una elevada concentración de materia orgánica.. [11]

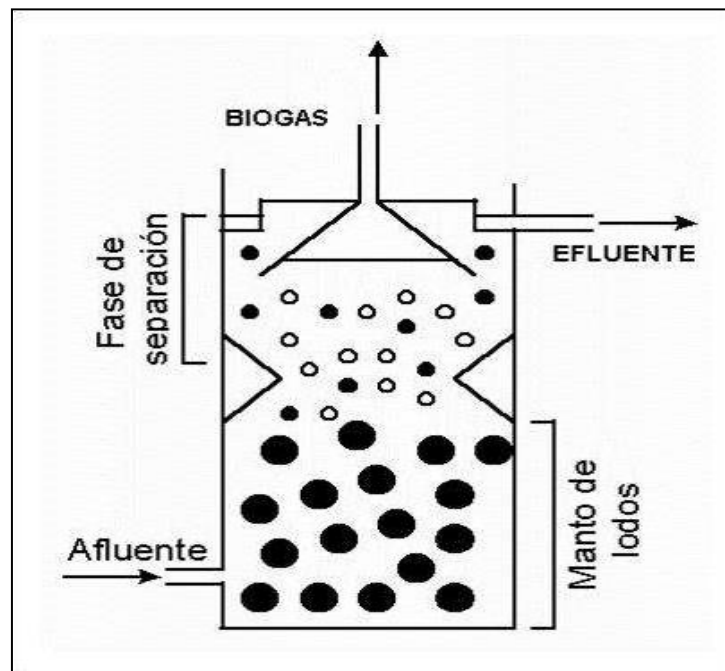
El reactor anaerobio de flujo ascendente con manta de lodos es un tipo de reactor de biopelícula fija que no requiere material de relleno o soporte estructural. En su interior, posee una cámara de digestión con flujo ascendente, donde se forma una manta de lodos anaerobios altamente activa a una altura específica. Esta manta de lodos descompone eficientemente la materia orgánica del influente en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, logrando la estabilización del proceso (Caicedo, 2006). [11]

El reactor de biopelícula fija conocido como RAFA's con manta de lodos carece

de soporte estructural y material de relleno. Tiene una cámara de digestión de flujo ascendente, donde se forma una manta de lodos anaerobios extremadamente activa a cierta altura para estabilizar la materia orgánica del influente en  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  (Caicedo, 2006). [11]

La actividad autorreguladora de varios grupos bacterianos que descomponen la materia orgánica y generan un lodo biológicamente activo en el reactor es la base del funcionamiento de los reactores UASB. La figura 9 muestra la disposición principal de uno de estos reactores, mostrando las cuatro zonas diferenciadas: [11].

- La primera zona recibe el nombre de "lecho del lodo".
- La segunda zona es conocida como "manta de lodo".
- La tercera zona se caracteriza como la "zona de baja turbulencia".
- La pieza número 4 en el diagrama cumple la función de un "sedimentador".



*Figura 9: Representación general de un reactor UASB.*

*Fuente: Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB)*

**Funcionamiento completo de un reactor UASB:**

Este se caracteriza por ser de tanque simple, en el cual las aguas que son parte del residuo ingresan al reactor al fondo y hace circular el agua hacia arriba, en ese lugar, una capa de lodo actúa como filtro para las aguas residuales, realizando el tratamiento necesario mientras estas atraviesan el reactor. [9]

Estas capas (pequeños grupos) de microbios (de 0,5 a 2 mm de diámetro) resisten al arrastre por la corriente ascendente debido a su propio peso. Los organismos microbianos descomponen las sustancias orgánicas de la capa de lodo. Como consecuencia, se desprenden gases (metano y dióxido de carbono). Sin el uso de maquinaria, los lodos pueden mezclarse con las burbujas ascendentes. El material que se eleva hacia la superficie del tanque es abovedado por las paredes inclinadas. La parte superior del tanque se utiliza para descargar el flujo de escape por las paredes inclinadas. [9]

Las bacterias de la capa de lodo descomponen los materiales orgánicos. En consecuencia, se desprenden gases (como metano y dióxido de carbono). Las burbujas ascendentes pueden utilizarse para mezclar los lodos sin necesidad de ningún aparato. Los lados inclinados del tanque voltean el material que sube a la superficie del tanque. El efluente tratado se extrae de la parte superior del tanque, ubicado por encima de las paredes inclinadas del mismo. [9]

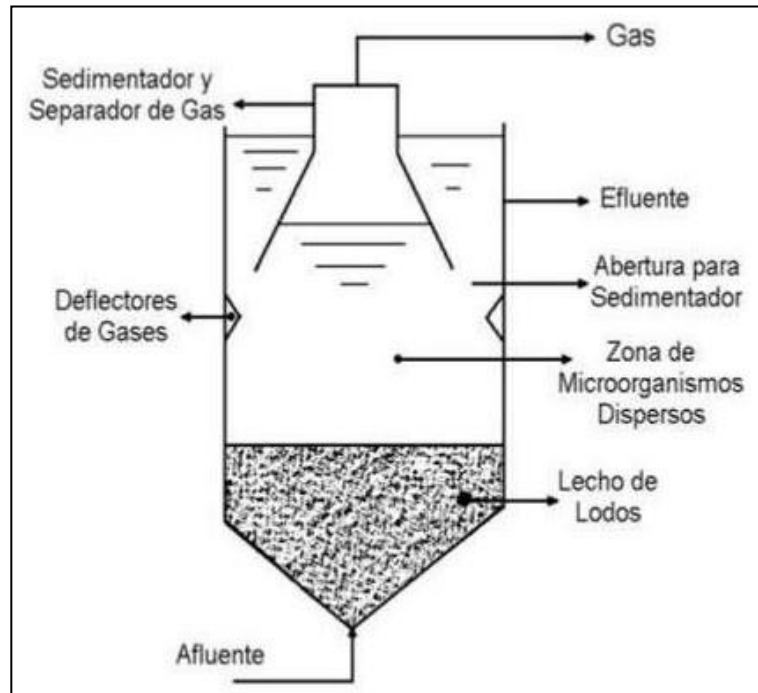


Figura 10: Funcionamiento del Reactor UASB.

Fuente: La tecnología anaerobia U.A.S.B.

### 2.3.6 Esquema de la secuencia de procesos del sistema anaerobio UASB.

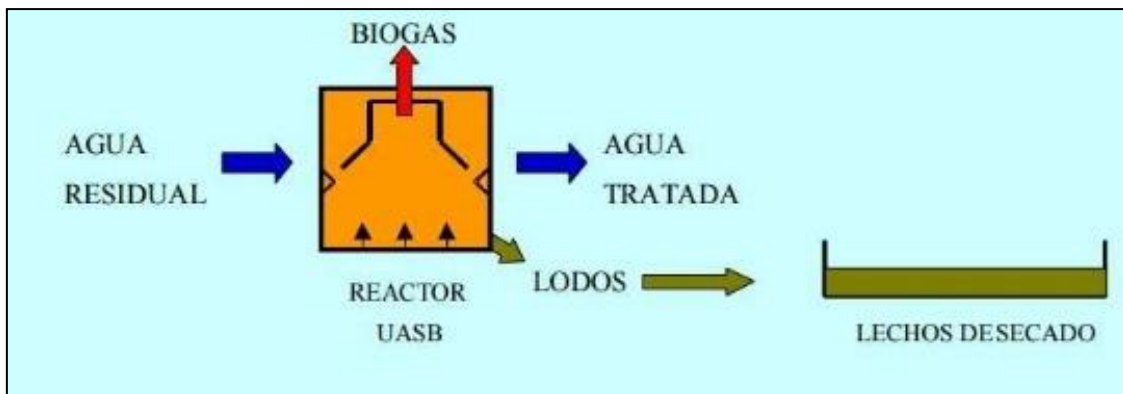
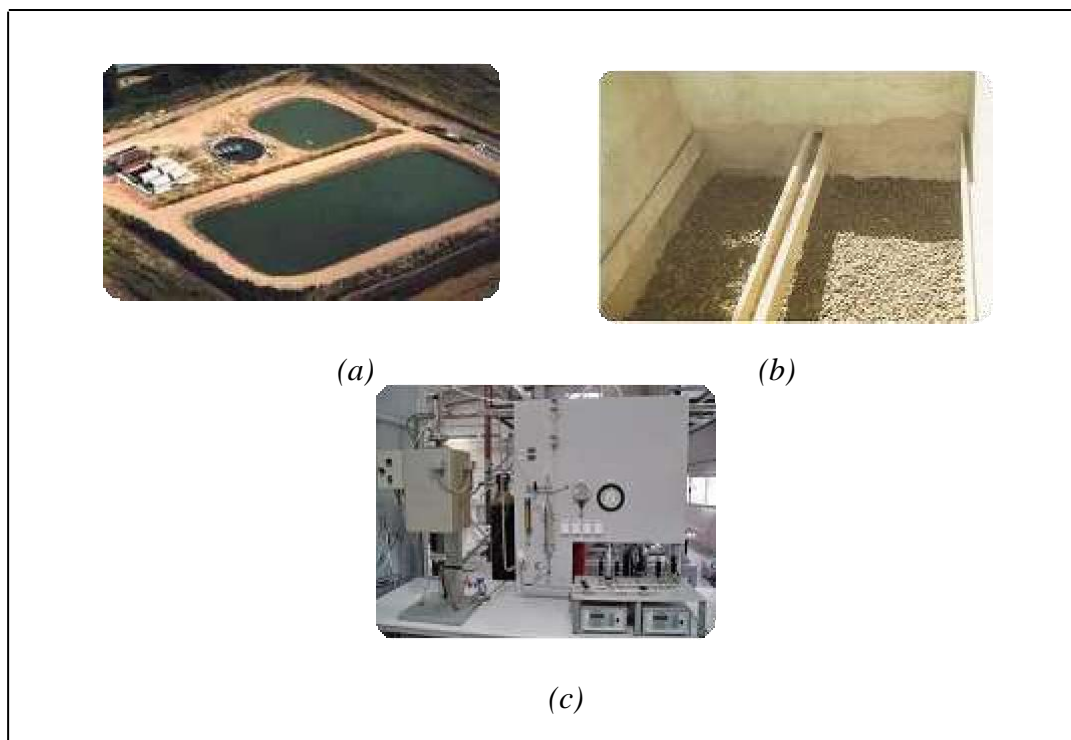


Figura 11: Diagrama de flujo del sistema anaeróbico UASB.

Fuente: La tecnología anaerobia U.A.S.B.

### 2.3.7 Tratamiento Anaerobio

Durante el complejo proceso microbiano conocido como digestión anaerobia, la materia orgánica se transforma en biomasa y moléculas orgánicas, la mayoría volátiles. Aunque se trata de un proceso natural, su competitividad tecnológica acaba de superar a la de sus rivales. Los reactores de alta velocidad, que separan el tiempo de retención hidráulica (TRH) del tiempo de retención celular (TRC), lo han hecho práctico. En este proceso también se genera un gas combustible (biogás) y se obtienen lodos con características adecuadas para ser utilizados como biofertilizantes. (Bermúdez et al., 2011). [11]



*Figura 12: Tratamientos anaerobios. (a) Laguna anaerobia, (b) Filtro anaerobio de flujo ascendente, (c) Reactor de lecho fijo.*

*Fuente: Fuente: Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB)*

Debido a su elevada concentración de materia orgánica, inicialmente sólo se

utilizaban para tratar aguas residuales industriales. Sin embargo, su uso se ha extendido desde entonces al tratamiento de aguas residuales municipales porque, según Cakir y Stenstrom (2005), los tratamientos aeróbicos se vuelven ineficaces a partir de una concentración de 300 a 700 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) carbonosa final, momento en el que ya se considera que las aguas residuales domésticas están muy cargadas. Para obtener la calidad requerida para el vertido, deben utilizarse junto con procedimientos aerobios.

### **Beneficios y limitaciones del tratamiento anaerobio.**

En la tabla siguiente se presentan un resumen de los beneficios y las limitaciones del tratamiento anaerobio.. [11]

*Tabla 2: Beneficios y limitaciones del tratamiento anaeróbicos.*

Ventajas	<p>Se requiere menor energía.</p> <p>Menor producción de lodos.</p> <p>Menor cantidad de nutrientes requeridos.</p> <p>Producción de metano, fuente potencial de energía.</p> <p>Menor volumen de los reactores.</p> <p>Con aclimatación, se pueden transformar una mayor cantidad</p>
Desventajas	<p>Largos períodos de arranque.</p> <p>Puede requerir la adición de algún ión específico o de alcalinidad.</p> <p>Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad.</p> <p>No es posible la remoción de fósforo y nitrógeno.</p> <p>Son más sensibles a los efectos adversos de las bajas temperaturas en las tasas de reacción.</p>

*Fuente: Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendentes (RAFA's o UASB)*

### **Ventajas ecológicas de la biodigestión anaeróbica.**

De manera similar al gas natural, el biogás ofrece una amplia gama de

aplicaciones, pero al provenir de biomasa, representa una fuente de energía sostenible. El proceso de convertir residuos orgánicos en biogás conlleva diversos beneficios.

Por lo tanto, la aplicación de tecnologías de digestión anaerobia en el sector agrícola puede reportar importantes beneficios económicos, medioambientales y energéticos. Adicionalmente, posibilita la captura y utilización del biogás, al mismo tiempo que mejora las prácticas de manejo de nutrientes y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero.

La descomposición aeróbica de los desechos biodegradables produce sustancias de bajo potencial energético en forma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . La atmósfera recibe la mayor parte de la energía que se pierde. Se cree que un proceso aeróbico pierde energía a un ritmo aproximadamente veinte veces mayor que un proceso anaeróbico.

Además, la digestión anaeróbica soluciona el inconveniente de emitir olores desagradables, como el olor a amoníaco, que se produce por la acumulación de excretas y orina sin tratar. Los alcoholes, los ácidos orgánicos y el metano son ejemplos de productos metabólicos con un importante poder energético que se producen durante la degradación anaeróbica y que pueden ser utilizados por la sociedad con fines energéticos o como alimento para otras especies (biogás).

La enorme disminución de la carga de los vertederos es otra gran ventaja medioambiental de las instalaciones de biogás. Esto reduce sustancialmente el precio de la eliminación de residuos orgánicos e incluso genera subproductos de valor añadido (biofertilizantes). Además, al reducir la posibilidad de fugas de nitratos, el proceso de tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a salvaguardar las aguas subterráneas.

En la atmósfera de la Tierra, el gas metano contribuye al efecto invernadero. Desde la última glaciación, la cantidad de metano en la atmósfera se ha duplicado hasta alcanzar  $1,7 \text{ ml m}^{-3}$ . En los últimos años, su valor se ha mantenido. El metano representa el 20% del efecto invernadero causado por el hombre. Más del 50% de las fuentes de metano de

origen humano proceden del ganado vacuno, y hasta un 30% del cultivo del arroz.

*Tabla 3: Capacidad de calentamiento de los gases de efecto invernadero.*

Gas	Potencial de calentamiento
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	310
SF <sub>4</sub>	23900
PFC	9200
HFC	11700

*Fuente: Manual del Biogás*

### **III DIAGNÓSTICO Y DISEÑO:**

#### **3.1 Situación actual:**

El Grupo Comercial Bary S.A se encuentra localizado en el punto kilométrico 777 de la Panamericana Norte, exactamente en La victoria Mz 34 LT.0004. El ámbito económico en el que opera es en la elaboración de alcohol etílico.

Esta fábrica de alcohol en días de producción produce aproximadamente 10759 a 11538 litros de alcohol diario, arrojando a los drenes una cantidad de 140 a 150 metros cúbicos - diarios de vinaza.

Enseguida, muestra datos brindados por la empresa:

Tabla 4: Caudales para el diseño

Q diario mínimo [m <sup>3</sup> /día]	140
Q diario máximo [m <sup>3</sup> /día]	150
Q diario medio [m <sup>3</sup> /día]	145
Q medio 24 horas [m <sup>3</sup> /h]	6
Q punta [m <sup>3</sup> /h]	7,8
Sobredimensionamiento	1,25
Q diseño [m <sup>3</sup> /h]	7,5
Q punta de diseño [m <sup>3</sup> /h]	7,8

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.1 Estudio de vinaza

El subproducto industrial del proceso de destilación alcohólica conocido como vinaza tiene propiedades únicas que lo convierten en un contaminante medioambiental. Cuando se libera, aumenta la temperatura de la masa de agua receptora y reduce la cantidad de oxígeno disuelto. Si no se neutraliza, puede disolver algunos metales. Tiene muchos materiales orgánicos, especialmente fenoles y sus polímeros, que son difíciles de descomponer biológicamente y tienen cualidades antibacterianas y fitotóxicas que impiden que sean tratados eficazmente por descomposición microbiana. [12] (Ver tabla 1)

*Tabla 5: Características físico-químicas de la vinaza.*

<b>Características</b>	<b>Promedios</b>
Temperatura °C	78,0 – 82,0
pH	3,7 – 4,5
Sólidos totales % ppm	9 – 12
DQO mg/l	80 000 – 110 000
DBO <sub>5</sub> mg/l	45 000 – 50 000
Cloruros mg/l	5 000 - 6 000
Sulfatos mg/l	4 000 – 8 000
Sodio mg/l	400 – 600
Potasio mg/l	8 000 – 12 000
Nitrógeno total mg/l	1 000 – 1 200
Fósforo mg/l	200 – 300
Calcio mg/l	2 000 – 3 500

*Fuente: Estudio del potencial de generación de biogás mediante el uso de vinazas en un reactor anaeróbico.*

Tiene el aspecto y el olor de un líquido espeso de color marrón oscuro. Su densidad oscila entre 1,15 y 1,25 g/cm<sup>3</sup>. Para llevar a cabo la oxidación química de la materia orgánica y convertirla en dióxido de carbono y agua, se necesita una cierta cantidad de oxígeno, o D.B.O. La D.B.O. se refiere a "la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos, especialmente bacterias, hongos y plancton", durante la descomposición de los componentes orgánicos presentes en la muestra".

### 3.1.2 Listado de los equipos.

*Tabla 6: Listado de los equipos de la fábrica.*

CANTIDAD	EQUIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	FUNCIÓN
5	Tanques de propagación de levadura	-	4m <sup>3</sup>	Tanque en el cual se cultivará la levadura.
4	Tanques de almacén de alcohol	-	15m <sup>3</sup>	Tanque en el cual se almacena el alcohol producido.
5	Motor	1,5 hp	-	Mezclado en los tanques de propagación de la levadura.
7	Motor	2 hp	-	Mezclado en los tanques de fermentación.
1	Bomba	1,5 hp	-	Para llevar la levadura hacia los tanques de propagación.
2	Bomba	2 hp	-	Para llevar la melaza a la torre de destilación.
1	Bomba	1 hp	-	Para llevar el alcohol hacia los contenedores de almacenamiento

*Fuente: Hecha por el autor.*

En anexos se podrá observar el listado de equipos completo de la fábrica de alcohol BARI.

### **3.1.3 Uso de energía eléctrica:**

La empresa alcoholera Bari tiene un contrato con la compañía proveedora de energía eléctrica “Electronorte” el cual especifica lo siguiente:

Medición: Baja tensión.

Tensión: 10 kV

Tipo de suministro: Trifásica – Aérea (C5, 1)

Nº Hilos Medidor: 3

Modalidad: Potencia Variable

Promedio Máxima Demanda: 44,33 kW

Potencia Contratada: 70,0000 kW

En diciembre de 2017 consumió 14 444,81 kWh.

El Grupo Comercial BARI S.A. invierte en promedio, en el mes de máxima producción, 8 715 soles.

## **3.2 Selección del biodigestor.**

### **3.2.1 Comparativa de biodigestores anaeróbicos**

#### **Pozo séptico:**

Es el digestor anaerobio más antiguo y básico que se conoce, comúnmente empleado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. [10]

No generan ningún tipo de mal olor pero es utilizada mayormente para uso doméstico. Solo funciona para tratar aguas residuales.

**Biodigestor de domo fijo:**

Este tipo de biodigestor tiene las ventajas de tener una larga vida útil, un costo de producción relativamente bajo y de fácil mantenimiento, pero tiene dos desventajas en la cual la empresa no está dispuesta a asumirla como es la permeabilidad de los gases debido a la construcción de ladrillo, ya que esto afectaría el ambiente de trabajo y el alto costo que requiere su construcción. [10]

Dos de sus ventajas son que es de fácil reparación y cuenta con bajo costo de producción.

Dos desventajas grandes para la industria es que cuenta con un tiempo de vida útil bajo y es muy vulnerable a rupturas debido a el material con el que se construye.

**Biodigestor flotante:**

Este biodigestor no puede construirse porque no hay ningún estanque cerca de la producción de alcohol de Bary.

**Biodigestor con un tanque convencional y una cúpula fabricada de polietileno:**

A pesar de que su bajo costo de producción es una gran ventaja; sus desventajas como: ocupa demasiado espacio, la cúpula polietileno susceptible a constantes ralladuras debido al contacto con la pared de ladrillo y el difícil acceso a la cúpula de polietileno para reparar una ralladura; son los grandes inconvenientes para poder implementarlo en la fábrica de alcohol Bary. [10]

**Reactor anaerobio de flujo ascendente con lecho/manto de lodos (UASB):**

El separador trifásico (GSS), un mecanismo ubicado en la parte superior del la innovación técnica de este reactor radica en su capacidad para separar internamente la biomasa, el efluente tratado y el biogás. Permite acumular cantidades importantes de biomasa muy activa, que adopta la forma de gránulos compactos con una gran capacidad de sedimentación.

En términos de tamaño industrial, es el más extendido. [11]

*Tabla 7: Tipos de biodigestores.*

<b>Biodigestores</b>	<b>Tipo de uso</b>	<b>Año de aparición</b>	<b>Extensión</b>
<b>Pozo séptico</b>	Doméstico	-	Sólo doméstico
<b>Biodigestor de domo flotante</b>	Industriales	1980	Desfasado por el problema de corrosión
<b>Biodigestor de domo fijo</b>	Industriales	1989	Desfasado por su alto costo
<b>Biodigestor de estructura flexible</b>	Industriales	1990	Sólo para excrementos de ganado
<b>Biodigestor flotante</b>	Domésticos, Industriales	Años 90	Sólo en lugares que sólo cuentan con terrenos lleno de agua
<b>Biodigestor con tanque tradicional y cúpula de polietileno</b>	Industriales	Años 90	Poco utilizado
<b>Reactor UASB</b>	Industriales	2000	Actualmente es más extendido a nivel industrial.

*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.2.1.1 Conclusión:**

De acuerdo con comparaciones entre distintos tipos de biodigestores disponibles en el mercado, el reactor UASB se destaca como la opción más eficiente para el tratamiento de aguas residuales provenientes del sector de bebidas alcohólicas. Es especialmente adecuado para el tratamiento de vinazas debido a su capacidad para tratar aguas con alta carga orgánica, su corto tiempo de retención hidráulica, su bajo costo y otras ventajas.

## **3.3 Diseño y cálculos.**

### **3.3.1 Parámetros de funcionamiento:**

#### **3.3.1.1 Características de los reactores UASB:**

Los reactores UASB exhiben un conjunto de atributos que los convierten en sistemas altamente eficientes y económicos. Algunas de estas características son:: [9]

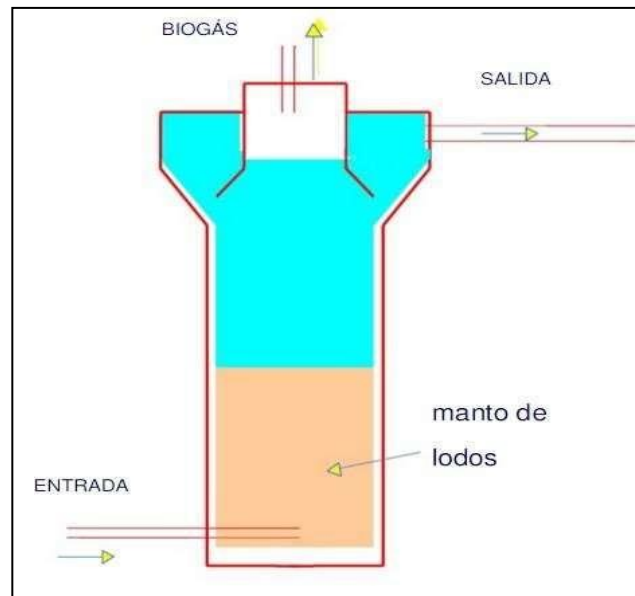
Sistema diminuto, ocupa poco espacio.

- Costes de construcción y funcionamiento mínimos.
- Baja generación de lodos.
- Consumo energético reducido.
- Eficacia de eliminación de entre el 65 y el 90% de la DBO y la DQO.
- Posibilidad de reinicio rápido tras paradas prolongadas.
- Los lodos de purga contienen muchos productos químicos.
- Las condiciones de deshidratación de los lodos de purga son buenas.

Además, hay una serie de restricciones o problemas que pueden existir y que deben tenerse en cuenta [9]:

- El potencial de generación de olores.
- La baja tolerancia del sistema a las cargas nocivas.
- El largo periodo de puesta en marcha en comparación con otros sistemas.

A continuación, se presenta un esquema de este tipo de reactor [9]



*Figura 13: Esquema de un reactor anaeróbico UASB.*

*Fuente: Criterios y parámetros de diseño UASB*

### 3.3.1.2 Principios operativos del reactor UASB

Las particularidades del flujo ascendente deben asegurar la máxima interacción entre la biomasa y el sustrato. Es fundamental evitar cortocircuitos en este tipo de reactores. Para evitar explosiones u otros problemas, debe planificarse correctamente el mecanismo de separación de las tres fases (sólida, líquida y gaseosa). [9].

- **PH y alcalinidad:**

El pH puede variar entre 6,5 y 7,5, pero debe mantenerse hacia la neutralidad. Tanto la producción de biogás como la composición de ese gas vienen determinadas por su valor en el digestor.

- **Nutrientes:**

El desarrollo de los microorganismos está condicionado por de la disponibilidad

de determinados nutrientes. Esto requiere la existencia de cantidades suficientes tanto de macronutrientes (N, P, S) como de micronutrientes (Fe, Zn, etc.). El líquido sobrante contiene estas sustancias. [9].

Una de las ventajas intrínsecas es su escasa necesidad de alimento debido a su lenta velocidad de desarrollo. Los principales alimentos de los microorganismos que producen metano son el carbono y el nitrógeno. En consecuencia, la relación entre el mismo carbono y el nitrógeno es crucial para el desarrollo de fermentación, sugiriéndose como ideal una relación de 20 a 30. [9].

#### • **Temperatura**

El rango termofílico (50-55oC) y el rango mesofílico (25-45oC) son los dos rangos básicos de temperatura que pueden identificarse. El primero es el más típico, aunque el rango termófilo se utiliza cada vez más para acelerar el procedimiento y mejorar la erradicación de organismos nocivos. [9].

Otras características incluyen: [9]

- Mayor superficie para la adherencia de microbios.
- Mayor concentración bacteriana que en otros sistemas, lo que permite operar con mayores tasas de carga orgánica.
- Reducción al mínimo de los problemas de obstrucción por sólidos.
- Una alta velocidad de transferencia de materia que agiliza el tratamiento de aguas que contienen muchos materiales orgánicos.
- Una reducción moderada de la presión del lecho.

#### **Ventajas:**

- Mínima generación de lodo (en comparación con el tratamiento aeróbico, 10%).
- Bajos requisitos dietéticos.
- Altas cargas intermitentes pueden ser manejadas por el proceso. Pasan largos

periodos de tiempo durante la retención de lodos (sin alimentación).

Producción de metano útil.

- Bajos costes de funcionamiento porque no se necesita oxígeno.
- Bajo coste de inversión.
- Al no haber relleno, hay menos posibilidades de que se produzcan puntos muertos, obstrucciones y cortocircuitos.
- Al no ser necesaria la agitación mecánica del sistema, el consumo de energía es mínimo. [9]

### **Desventajas:**

- Una gran variedad de sustancias inhibe los microorganismos anaerobios, especialmente las bacterias metanogénicas.
- Ralentiza la puesta en marcha del proceso.
- Es necesario vigilar su uso.
- Puede ser necesario pulir el efluente posteriormente.
- Producción de olores ofensivos si no se regula adecuadamente. [9]

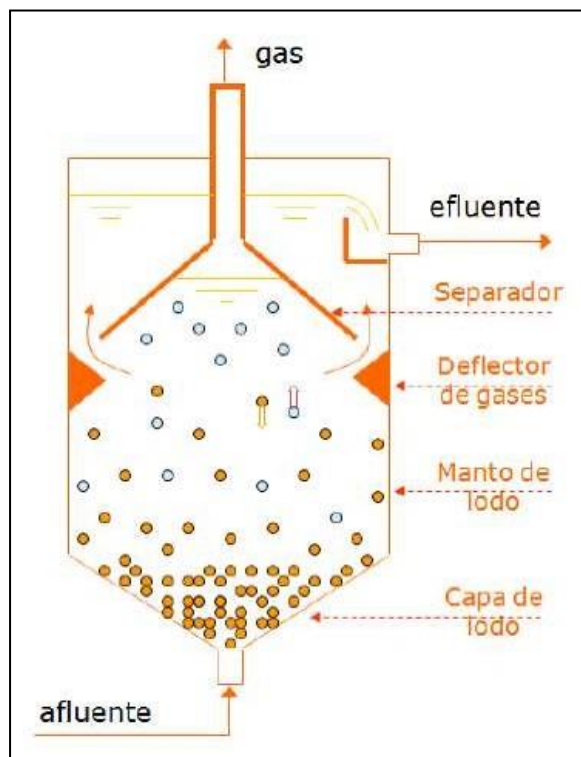
Las características de funcionamiento de este proceso incluyen:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m<sup>3</sup>/ d): 5 – 30.
- Tiempo de retención hidráulico (d): 0,2 – 2.
- Concentración media en el interior (g SSV/1): 20 – 40.
- Concentración del efluente (g SS/1): 0 – 5.
- Tiempo de arranque (d): 30 – 60.
- Velocidad vertical ascendente (m/h): 0,6 – 0,9.

### **Representación visual**

En la parte superior, se encuentra un separador de gas-sólido-líquido, cuya función es retener el lodo en el interior del reactor.

D En términos generales, el tiempo de retención celular supera los 30 días, lo que implica que el lodo excedente descartado ya estará estabilizado. [9]



*Figura 14: Representación fundamental de un reactor de flujo ascendente UASB.  
Fuente: Diseño e implantación de un reactor anaeróbico UASB en la industria de los lácteos para su uso como fuente de energía en cogeneración*

### 3.3.2 Diseño:

#### 3.3.2.1 Explicación de la tecnología para la generación de biogás.

El proceso de tecnología para generar electricidad a partir de vinazas involucra las siguientes etapas: [13]:

1. Zona de recepción de la vinaza: El alcohol residual (vinaza) a la salida de la columna de destilación tiene una carga orgánica de 80 kg DQO d/m<sup>3</sup> y una temperatura aproximada de 95-104 °C.
2. Adecuación del medio de fermentación: Los procesos de enfriamiento, adición de nutrientes y ajuste del pH se llevan a cabo en la cámara de adecuación del medio de fermentación [13].

Para aprovechar una parte del calor de las vinazas, se han instalado dos

intercambiadores de calor, con áreas de intercambio de 5 y 27 m<sup>3</sup>, respectivamente. En primer lugar, las vinazas a enfriar intercambian calor con las vinazas pos- tratadas del reactor UASB y luego con agua, reduciendo su temperatura hasta 50-55 °C para alcanzar el nivel adecuado del medio. En esta área, se requiere una torre de enfriamiento que consume 2 m<sup>3</sup>/h de agua de reposición. [13].

Después, la vinaza a una temperatura de 50 - 55°C se introduce en un tanque Batch agitado, donde se le añaden los nutrientes (N y P) necesarios para el crecimiento de la biomasa. A continuación, se procede a ajustar el pH a un valor cercano a 7 mediante el uso de una solución de Cal. [13].

3. Digestión anaerobia y pre - acidificación: La cal no disuelta y las bacterias acidogénicas en suspensión creadas durante el proceso de acidificación se sedimentan en los tanques de sedimentación-pre-acidificación (tanques SP), lo que permite que el medio de fermentación pase a los reactores UASB. [13].

### 3.3.2.2 Premisas para el diseño

Estas presunciones se basaban en las que ya se habían establecido en el artículo de la revista "Industrial treatment of distillery stillage in UASB reactors". [14]

La destilería perteneciente al grupo empresarial Bary solo será utilizada para generar biogás, con una producción diaria estimada de vinazas de 140 a 150 m<sup>3</sup> y una concentración de 80 kg DQO/m<sup>3</sup>. Los análisis de masa y energía destacan el uso de la tecnología de tratamiento anaerobio en los reactores UASB para producir biogás y su posterior aprovechamiento en la generación de energía. Gracias a este método, se ha logrado una reducción de más del 95% en la demanda biológica de oxígeno (DBO) y un 70% en la demanda química de oxígeno (DQO) de las vinazas.

La relación ideal DQO:N:P de 100:1:0,1 se emplea para cuantificar la cantidad de urea. (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO y fosfato amónico (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> que se debe consumir.

- Se prevé que la microturbina se alimente totalmente con el biogás creado y

desulfurado para producir energía. Se producen 1,7 kWh de energía por cada m<sup>3</sup> de biogás, por término medio.

- Es de vital importancia conocer las propiedades de la vinaza que será tratada, en términos de contaminación y carga operativa del reactor, para calcular adecuadamente el volumen del reactor durante el diseño de una planta de biogás (carga orgánica volumétrica). [14].

- La cantidad de biogás a obtener en una planta de este tipo depende del caudal de efluente a tratar, de su composición en términos de DQO y temperatura, así como de la eficacia de eliminación del tratamiento anaerobio y del porcentaje de metano en el biogás. Los principales parámetros de diseño y el potencial de biogás de una instalación industrial con estas características se calculan [13] utilizando las premisas mencionadas y las ecuaciones 1 a 10.

### 3.3.2.3 Datos de diseño

#### Caudal:

Ya mencionado anteriormente en el apartado “3.1 Situación actual”, la fábrica de alcohol Bary produce una media de 145 [m<sup>3</sup>/día] de vinaza, el promedio de flujo de trabajo que se considera, al estar trabajando por 24 horas, de 6 [m<sup>3</sup> /hora], se aplicará un aumento del 25% por motivos de seguridad, lo que resultará en un caudal final de 7,5 [m<sup>3</sup>/hora]. Sin embargo, a pesar de ser este el punto de diseño medio, no se diseñará el biodigestor para soportar este caudal, si no para soportar el “caudal punta de diseño” que corresponde como figura en la "Tabla 1" a 7,8 [m<sup>3</sup>/hora].

En otras palabras el diseño estructural del biodigestor estará sujeto a las premisas de que debe soportar el caudal punta de diseño ( $Q_{\text{máximo}}$ ) y la aproximación de obtención de metano estará basado en las premisas del caudal medio ( $Q_{\text{diseño}}$ ).

$$Q_{\text{máximo}} = 187,5 \text{ [m}^3\text{/día]}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 181,25 \text{ [m}^3\text{/día]}$$

Por consiguiente, el reactor será dimensionado para resistir flujos de hasta 187,2 [m<sup>3</sup>/día].

### **Concentración**

Después de analizar la vinaza generada en la industria alcoholera, se determinó que contiene una carga orgánica significativa, que será completamente utilizada para producir metano (CH<sub>4</sub>). [9]

Como se aprecia la sección de “Premisas para el diseño”

$$\text{DBO}_5 = 45000 \text{ [mg/l]} \quad \text{Concentración} = 45 \text{ [Kg DBO}_5\text{/m}^3\text{]}$$

### **COV: Carga Orgánica Volumétrica**

$$\text{COV} \leq 80 \text{ [kg DQO/m}^3\text{]}$$

### **CHV: Carga Hidráulica Volumétrica**

El valor de la carga orgánica volumétrica debe mantenerse por debajo de 5 [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d], esto resultará en un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) inferior a 4,8 horas. [9]

#### **3.3.2.4 Cálculos de Diseño:**

##### **Cálculo del volumen de reactor**

$$\text{COV (kg DQO/m}^3\text{)} = \text{Q (m}^3\text{/día)} * \text{Concentración (kg DBO/m}^3\text{)} / \text{Volumen Reactor (m}^3\text{)}$$

[9]

Luego:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = [187,5 \text{ (m}^3\text{/día)} * 45 \text{ (kg DBO/m}^3\text{)}] / 80 \text{ (kg DQO/m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen del reactor} = V_R = 105,47 \text{ [m}^3\text{]}$$

Comprobamos que no supera la CHV:

$$\text{CHV (m}^3\text{/m}^3\text{.d)} = \text{Q (m}^3\text{/día)} / V \text{ (m}^3\text{)} \text{ [9]}$$

$$\text{CHV (m}^3\text{/m}^3\text{.d)} = 187,5 \text{ (m}^3\text{/día)} / 105,47 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{CHV} = 1,78 (\text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{d}) \leq 5$$

### Velocidad superficial del flujo

La velocidad superficial variará según el caudal para aguas residuales domésticas, con los siguientes valores correspondientes.: [9]

*Tabla 8: Velocidades superficiales correspondientes a diferentes caudales para líquidos*

Medio	0,5 – 0,7
Máximo	0,9 - 1,1
Pico	< 1,5

*Fuente: [Reactores Anaerobios, 2002]*

Para el tratamiento de aguas con altas cargas orgánicas, como las que se están analizando, la velocidad superficial varía entre 0,9 y 1,2. En este estudio, se considerará el valor de [9]:

$$V (\text{m/h}) = 0,9 (\text{m/h})$$

### Cálculo del TRHmedio

$$\text{TRH}_{\text{medio}} = \text{Volumen del Reactor (m}^3\text{)}/Q_{\text{medio (m}^3\text{/hora)}} [9]$$

$$\text{TRH}_{\text{medio}} = 105,47 [\text{m}^3]/7,81 [\text{m}^3/\text{hora}]$$

$$\text{TRH}_{\text{medio}} \approx 13,50 \text{ horas}$$

### Cálculo de la altura del reactor

$$V (\text{m/h}) = H (\text{m})/\text{TRH (horas)} [9]$$

$$H (\text{m}) = 1,2 (\text{m/h}) * 13,50 (\text{horas})$$

$$\text{Altura Reactor} = 12,15 \text{ metros}$$

### Cálculo área de la base del reactor

$$V \text{ (m}^3\text{)} = \text{Base (m}^2\text{)} * \text{Altura (m)} \text{ [9]}$$

$$\text{Base (m}^2\text{)} = 105,47 \text{ (m}^3\text{)}/16,76 \text{ (m)}$$

$$\text{Área Base} = 8,68 \text{ m}^2 = A_R$$

Al ser un reactor cilíndrico:

$$\text{Radio Base} = 1,66 \text{ metros}$$

### Flujo másico:

La expresión empleada es la siguiente: [11]

$$F = V_R * COV \text{ (kg DQO/m}^3\text{)}$$

$$F = 105,47 \text{ m}^3 * 80 \left( \text{kg} \frac{\text{DQO}}{\text{m}^3} \right) = 8437,5 \text{ kg DQO}$$

### Carga hidráulica:

Se obtiene mediante el cálculo utilizando la siguiente expresión: [11]

$$C_H = \frac{Q}{A_R}$$

El valor numérico resultante no debe superar 1 m/h, ya que este es el valor habitualmente recomendado para garantizar un funcionamiento adecuado. [11]

$$C_H = \frac{7,81 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{8,68 \text{ m}^2} = 0,90 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

### Velocidad de flujo en la campana:

La expresión empleada es la que se indica a continuación: [11]

$$V_C = 4C_H$$

$$V_c = 4 * 0,9 \frac{m}{h} = 3,60 \frac{m}{h}$$

### Separador de gas del líquido:

Los objetivos para lograr con la implementación de las campanas para el reactorson: [11]

- Garantizar una adecuada separación y evacuación del biogás dentro del reactor.
- Facilitar el desplazamiento del lodo en el compartimento de digestión.
- Funcionar como una especie de barrera (stopper) para evitar expansiones demasiado rápidas del manto de lodos dentro del sedimentador.

En el diseño deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- La velocidad del flujo que asciende a través de la abertura.
- La inclinación de los lados de la campana.
- El traslapo horizontal.

Dado que los criterios pueden modificarse entre sí en función de las proporciones del reactor y de los parámetros fundamentales de diseño, que se enumeran a continuación: [11], todos los criterios son flexibles.

#### 1) Área de abertura:

Está relacionado con el gasto y la velocidad de flujo en la campana. [11]

$$A_{abertura} = \frac{Q}{V_c}$$

$$A_{abertura} = \frac{181,25 \text{ m}^3/\text{día}}{3,60 \text{ m/h}} = 2,10 \text{ m}^2$$

#### 2) Área de la sección transversal de la campana:

Para calcular esta área se requiere el valor del área del reactor y el área de abertura y la expresión matemática es la siguiente: [11]

$$A_{\text{campana}} = A_R - A_{\text{abertura}}$$

$$A_{\text{campana}} = 8,68 \text{ m}^2 - 2,10 \text{ m}^2 = 6,58 \text{ m}^2$$

A partir de este valor se puede calcular el radio mayor de la campana, mediante la siguiente ecuación: [11]

$$A_{\text{campana}} = \pi R_{\text{campana}}^2$$

$$\frac{A_{\text{campana}}}{\pi} = \frac{6,58 \text{ m}^2}{\pi}$$

$$R_{\text{campana}} = \sqrt{\frac{6,58 \text{ m}^2}{\pi}} = 1,45 \text{ m}$$

### 3) Ancho de la abertura:

El ancho de la abertura está relacionado con los radios del reactor y los de la campana, por lo que se tiene la siguiente expresión: [11]

$$W_{\text{abertura}} = R_{\text{reactor}} - R_{\text{campana}}$$

$$W_{\text{abertura}} = 1,66 \text{ m} - 1,45 \text{ m} = 0,21 \text{ m}$$

Se puede asumir para el diseño de la campana, que tanto el ancho mínimo interno de la campana ( $H_T$ ) y la altura tope sobre la superficie del líquido son iguales a 2 cm. [11]

### 4) Ángulo de inclinación de la campana:

El ángulo que se recomienda es de  $60^\circ$  debido a que ajusta de forma más adecuada a las condiciones de diseño, tanto de la campana como del turbo reactor. [11]

### 5) Altura de la campana:

Para calcular la altura de la campana se requiere conocer previamente la longitud que existe entre el extremo del radio mayor de la campana y el extremo de la abertura de la campana, para lo cual se presentan las siguientes expresiones: [11]

$$W_G = R_{\text{campana}} - \frac{1}{2} * (W_{\text{abertura}})$$

$$W_G = 1,45 \text{ m} - \frac{1}{2} * (0,21 \text{ m}) = 1,34 \text{ m}$$

$$H_G = W_G \tan(a)$$

Donde a es el ángulo de inclinación de la campana. [11]

$$H_G = 1,34 \text{ m} \tan(60) = 2,32 \text{ m}$$

### 6) Ancho de los deflectores

Se calcula de la siguiente manera: [11]

$$W_D = T_V + W_{\text{abertura}}$$

$$W_D = 0,32 \text{ m} + 0,21 \text{ m} = 0,54 \text{ m}$$

### 7) Longitud de los deflectores

Esta longitud está en función de un ángulo, el cual, para facilitar la construcción se considera de 45 grados, por lo tanto, la expresión para su cálculo es la siguiente: [11]

$$L_D = 2 * W_D * \tan(45)$$

$$L_D = 2 * 0,54 \text{ m} * \tan(45) = 1,07 \text{ m}$$

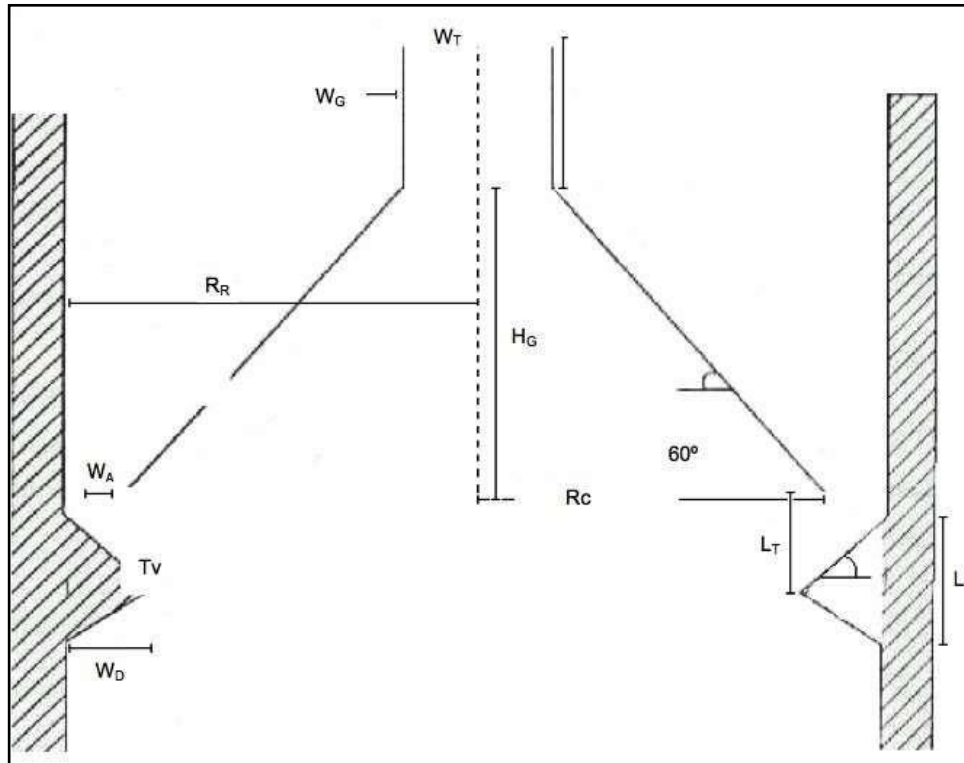


Figura 15: Diseño del dispositivo de separación gas-líquido en forma de campana

Fuente: Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB)

### 3.4 Elección de material del reactor UASB:

Para poder realizar una correcta elección de material se describirá las propiedades del biogás.

#### 3.4.1 Propiedades químicas del Biogás:

Su composición está determinada por el tipo de material orgánico empleado en su producción y las condiciones bajo las cuales es procesado. [15]

Tabla 9: A continuación se muestra una estimación de la composición del biogás.

GAS	SÍMBOLO	%APROXIMADO
Metano	CH <sub>4</sub>	55 – 80%
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	45 – 20%
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0 – 10%
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0,1 – 1%
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0,5 - 10%
Monóxido de Carbono	CO	0 – 0,1%
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	1 – 5%
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	Variable

*Fuente: Utilización de Metano generado en un reactor anaeróbico como fuente de energía en una industria de gaseosa.*

### 3.4.2 Elección del material a utilizar:

El biogás tendrá un porcentaje de sulfuro de hidrógeno lo cual obligará a escoger un material resistente a la corrosión, además debe de tener un tiempo de vida aceptable y alta resistencia al desgaste ya que va a estar sometido a un trabajo de 24 horas; esas son las principales características que debe de tener el material.

El material más adecuado para el reactor es el acero inoxidable UASB por los siguientes motivos:

- La alta resistencia a la corrosión es una propiedad de todos los aceros inoxidables. Los grados de baja aleación pueden soportar la corrosión del aire, o obstante, las aleaciones de acero altamente resistentes pueden soportar la corrosión en la mayoría de entornos ácidos, incluso a altas temperaturas. [16]
- Resistencia a altas y bajas temperaturas: Algunos grados presentan una tenacidad excepcional a temperaturas criogénicas, mientras que otros muestran una gran resistencia a las grandes oscilaciones de temperatura y mantienen su alta resistencia a temperaturas extremadamente altas. [16]

- **Facilidad de fabricación:** La mayoría de los aceros inoxidables pueden cortarse, soldarse, forjarse y mecanizarse con éxito. [16]
- **Resistencia mecánica:** Los diseños que adelgazan los materiales y reducen costes aprovechan la capacidad de muchos aceros inoxidables para endurecerse en procesos en frío. Otros aceros inoxidables sometidos a tratamiento térmico pueden utilizarse para crear componentes de gran resistencia. [16]
- **Estética:** Existen muchos acabados superficiales diferentes para el acero inoxidable. Son fáciles de mantener y ofrecen una calidad excepcional. [16]
- **Cualidades higiénicas:** El acero inoxidable es el material preferido en hospitales, cocinas e instalaciones alimentarias y farmacéuticas por su facilidad de limpieza. [16]

#### ***3.4.2.1 Clasificación de aceros inoxidables:***

Austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita más ferrita) son las cuatro familias que corresponden a las estructuras cristalinas específicas formadas en la aleación; la quinta familia, la clasificación de las aleaciones endurecidas por precipitación depende principalmente del tipo de tratamiento térmico aplicado en lugar de su estructura cristalina. [17]

#### **Aceros Inoxidable Martensíticos**

Son la primera categoría de aceros inoxidables que contienen solo cromo [17]. Son aleaciones que pueden austenizarse y endurecerse porque pueden pasar al campo gamma del diagrama de equilibrio Cr-Fe. Pueden combinarse en pequeñas cantidades con otros elementos para formar aleaciones [16]. Tienen un nivel moderado de resistencia a la corrosión.

- El tratamiento térmico tiene la capacidad de fortalecer los materiales, lo que permite alcanzar niveles elevados de resistencia mecánica y dureza..
- Se atraen entre sí.
- Son difíciles de soldar debido a su alto contenido en carbono y a su grado de dureza. [16]

### **Aceros Inoxidables Ferríticos**

Estos aceros se distinguen por tener una estructura ferrítica en todas las temperaturas, ya que no experimentan transformación de ferrita a austenita durante el calentamiento ni transformación martensítica durante el enfriamiento.

- Exhiben una resistencia a la corrosión que varía de moderada a buena, que se ve mejorada por algunas aleaciones de molibdeno y la presencia de cromo.
- Sólo pueden endurecerse ligeramente mediante trabajo en frío; el tratamiento térmico no lo hará.
- La atracción entre ellos es fuerte.
- Por lo general, se evitan las uniones soldadas en calibres estrechos debido a su escasa soldabilidad.
- Con frecuencia se recuecen para mejorar su blandura, ductilidad y resistencia a la corrosión.
- Debido a su escasa dureza, se utilizan sobre todo en procesos de conformado en frío. [17]
- Tienen una resistencia a la corrosión algo mejor que los grados austeníticos, pero algo peor que los aceros inoxidables martensíticos. [16]
- Los aceros con un contenido de cromo entre 25-30% ofrecen una buena resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes con presencia de azufre a altas temperaturas. [16]

### **Aceros inoxidables austeníticos**

Su uso generalizado se debe a su gran resistencia a la corrosión y a su excelente conformabilidad. El níquel es el segundo elemento principal de aleación en la clase austenítica [17]. La austenita se estabiliza incluso a temperatura ambiente e inferior gracias a la adición de níquel. Como resultado, la austenita se convierte en la nueva estructura cuando se introduce níquel en el acero inoxidable en cantidades suficientemente grandes [16]. Estas son algunas de sus características:

- Excelente resistencia a la corrosión, sin embargo, en condiciones de cloruro susceptible al agrietamiento por corrosión bajo tensión.
- Endurecido mediante trabajo en frío en lugar de calentamiento.
- Excelentes niveles de limpieza e higiene.
- Pueden funcionar en condiciones de alta o baja temperatura. No tienen magnetismo. [17]
- Superiores a los grados martensíticos y ferríticos en términos de maleabilidad y ductilidad. [16]

El cromo confiere protección contra la oxidación en una amplia gama de ambientes a temperaturas cercanas a los 650° C. [17]

### **Aceros Inoxidables Dúplex**

El nombre "dúplex" se refiere a una aleación de cromo, níquel y molibdeno con una serie de estabilizadores de austenita como Ni y N para establecer el equilibrio necesario entre las fases ferrítica y austenítica. Además de reforzar el rendimiento, el nitrógeno también frena la producción de compuestos intermetálicos frágiles. El molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión por picaduras y grietas [16]. Estas son algunas de sus características:

- En comparación con los grados austeníticos, los inoxidables dúplex tienen una tenacidad, ductilidad y soldabilidad ligeramente inferiores, pero una resistencia mecánica y una resistencia a la SCC en soluciones de cloruro significativamente superiores.
- Exhiben un límite elástico y resistencia a la tracción superiores en comparación con los aceros austeníticos y ferríticos.
- Excelente maleabilidad y soldabilidad.
- Muestran una resistencia a la corrosión por fatiga causada por el cloruro que se sitúa entre la de los aceros austeníticos y ferríticos.
- Típicamente empleados en un rango de temperaturas de -45 °C a 260 °C. [16]
- En ambientes que contienen iones de cloruro, la estructura dúplex mejora la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión. [17]

Los aceros dúplex poseen un contenido de cromo que oscila entre el 18% y el 26%, y de níquel entre el 4,5% y el 6,5%. La incorporación de elementos como nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno confiere ciertas propiedades de resistencia a la corrosión. [17]

### **Aceros Inoxidables Endurecibles Por Precipitación**

Estos aceros son compuestos principalmente de hierro, con un contenido de cromo que varía entre el 12% y el 18%, y níquel entre el 4% y el 9%. También contienen elementos adicionales que inducen el endurecimiento por precipitación, como molibdeno (Mo), titanio (Ti), nitrógeno (N), cobre (Cr), aluminio (Al), tántalo (Ta), niobio (Nb), boro (B) y vanadio (V). [16] Sus características son:

- Exhiben una resistencia a la corrosión que varía de moderada a buena.
- Poseen una resistencia muy elevada, pudiendo alcanzar hasta aproximadamente 1800 MPa (superando la resistencia de los aceros inoxidables martensíticos), con una resistencia a la corrosión similar a la del Tipo 304.
- Buena soldabilidad.
- Magnéticos. [16]

Tabla 10: Características comunes de los aceros inoxidable.

<b>PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACEROS INOXIDABLES</b>					
Tipo	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnético	Endurecibles por tratamiento térmico (temple)	Soldabilidad
Martensínicos	Baja	Media	Sí	Sí	Pobre
Ferríticos	Buena	Media buena	Sí	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta	No	No	Excelente
Dúplex	Buena	Muy alta	Sí	No	Buena
Por precipitación	Buena	Muy alta	Sí	Sí	Buena

*Autor: El autor.*

Como podemos observar en el cuadro comparativo, el acero inoxidable que más se adecúa a nuestros requerimientos es el acero inoxidable austenítico, ya que este cuenta con una excelente resistencia a la corrosión, alta dureza y soldabilidad excelente.

### 3.4.3 Espesor de las paredes del reactor

$$r = (\gamma \cdot d \cdot r) / \sigma_r \cdot E_s$$

$r$  = Espesor de la pared, cm.

$\gamma$  = Peso específico del producto almacenado, kg/cm<sup>3</sup>.

$d$  = nivel máximo de producto almacenado, cm.

$r$  = radio del cilindro, cm.

$\sigma_c$  = Resistencia máxima admisible del material, kgf/cm<sup>2</sup>.

$E_s$  = Eficiencia de soldadura según tipo de soldadura. Para junta

*soldada a tope en doble V y no examinada, tomar valor de 0,6.*

- **Densidad de la vinaza en el reactor:**

Como ya mencionado anterior mente la vinaza tiene una densidad de 1,15 – 1,25 gr/cm<sup>3</sup>. Para cuestión de diseño se tomará el dato de 1,25 gr/cm<sup>3</sup>, por lo tanto el peso de la vinaza en el reactor UASB es:

$$1,25 \frac{gr}{cm^3} = 0,00125 \frac{kg}{cm^3}$$

- **Tensión máxima admisible del material:**

*Tabla 11: Propiedades mecánicas experimentales del acero inoxidable AISI 304 en estado de entrega y especificada según la ASM*

	Resistencia a la fluencia (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia máxima (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Reducción de área (%)
Experimentales	3 040	6 893	80
Desviación estándar	196	248	2
ASM	2 092	5 252	50

*Fuente: Propiedades mecánicas de un acero inoxidable auténtico AISI 304 laminado en caliente. [18]*

Para el diseño se tomará en cuenta la resistencia máxima especificada según la ASM, 5 252 kg/cm<sup>2</sup>

- **Espesor**

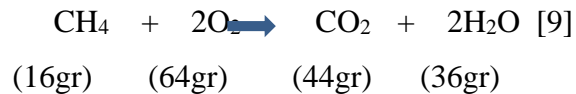
$$\tau = (\gamma \cdot d \cdot r) / \sigma_{\tau} \cdot E_s$$

$$\tau = \frac{0,00125 \frac{kg}{cm^3} * 9,81 * 1\,215cm * 166,23\,cm}{5\,252 \frac{kgf}{cm^2} * 0,6}$$

$$\tau = 0,79\,cm$$

### 3.1 Generación de CH<sub>4</sub> y rendimientos del reactor

### 3.1.1 Cálculo de CH<sub>4</sub> generado



De la ecuación surge que 1 mol de CH<sub>4</sub> requiere 2 moles de O<sub>2</sub> para su completa oxidación.

En resumen, cada 16 gr de CH<sub>4</sub> producido y liberado se consumen 64 gr de O<sub>2</sub> (se remueven 64 gr de DQO) [9]

A partir de esta igualdad (64 gr de DQO = 16 gr de CH<sub>4</sub>) se puede hallar el volumen de CH<sub>4</sub> generado. [9]

$$(\text{Kg DQO/día}) = Q_{\text{diseño}} (\text{m}^3/\text{día}) * \text{Concentración} (\text{Kg DQO/m}^3) \dots [9]$$

$$(\text{Kg DQO/día}) = 181,25 (\text{m}^3/\text{día}) * 80 (\text{Kg DQO/m}^3)$$

$$(\text{Kg DQO/día}) = 14\,500 (\text{Kg DQO/día})$$

$$(\text{Kg CH}_4/\text{día}) = 3\,625 (\text{Kg CH}_4/\text{día})$$

Ahora se ha de calcular esto en volumen, es decir, en litros.

$$V_{\text{CH}_4} = \text{DQO}_{\text{CH}_4} / K(T) \dots [9] \quad K(T) = K * P / R (273 + T) \dots [9]$$

Siendo:

$V_{\text{CH}_4}$  = Volumen de CH<sub>4</sub> liberado

$\text{DQO}_{\text{CH}_4}$  = DQO convertida en metano (gr DQO removido)

$K$  = gr DQO por 1 mol de CH<sub>4</sub> (64 gr DQO / mol CH<sub>4</sub>)

$R$  = Cte. de los gases (0,08206 atm\*l / mol °K)

$P, T$  = Presión atmosférica (atm) y temperatura (°C)

$K(T)$  será para una temperatura comprendida entre 30 – 60 °C. De este modo obtenemos un valor de  $K(35^\circ)$ .

$$K(T) = \frac{0,064 \frac{\text{kg DQO}}{\text{kmol CH}_4} * 1 \text{ atm}}{\left(82,06 \frac{\text{atm} * \text{l}}{\text{kmol} * ^\circ\text{K}}\right) * (273 + 35)^\circ\text{K}} = 0,24 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{l}}$$

$$V_{CH_4} = \frac{3625 \frac{kg \text{ CH}_4}{\text{día}}}{0,24 \frac{kg \text{ CH}_4}{l}} = 15083,34 \frac{l}{\text{día}} = \mathbf{15,08 \frac{m^3}{\text{día}}}$$

Aproximadamente el 80% constituye gas metano. Esto supondría una generación de 12,07 m<sup>3</sup>/día.

#### 3.4.4 Eficiencia:

- Eficiencia DQO:

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * TRH^{-0,35}) [9]$$

$$E_{DQO} = 72,65 \%$$

- Eficiencia DBO:

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,7 * TRH^{-0,5}) [9]$$

$$E_{DBO} = 80,95 \%$$

#### 3.5 Condensador:

Cuando se saca el biogás de los biodigestores, está completamente húmedo. Dado que el biogás siempre está sobresaturado de humedad, este problema empeora durante el verano debido al incremento de la temperatura. El tipo de biomasa utilizada y el porcentaje de dilución son otras variables que afectan a este contenido de humedad. Además del vapor de agua en el flujo de biogás, también están presentes partículas sólidas o que no reaccionan con las bacterias. Ambos factores son perjudiciales para los sistemas de aprovechamiento del biogás. [20]



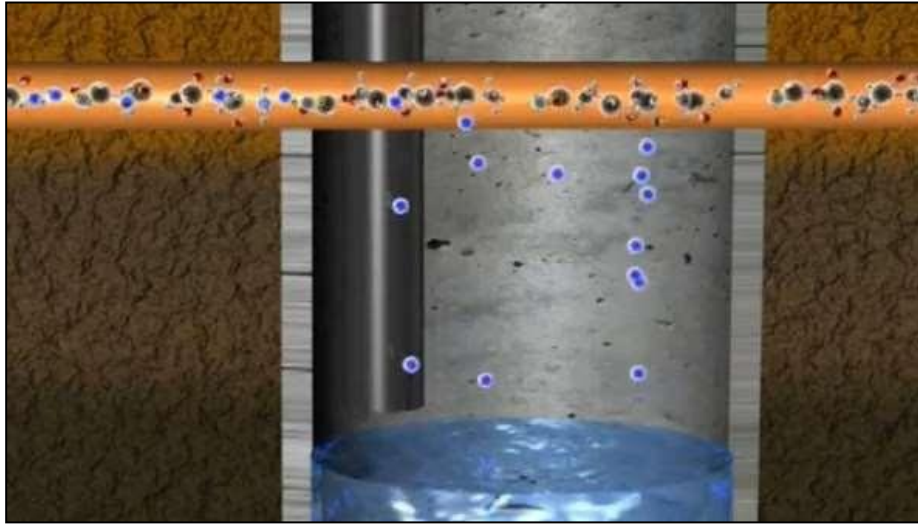
*Figura 16: Reductores de humedad y condensados.*

*Fuente: AQUALIMPIA, Reducción de condensados.*

En las imágenes superiores se muestran dos tecnologías para eliminar el condensado y reducir la humedad. El condensado se produce cuando el biogás se enfría y puede eliminarse. Parte de esta humedad se condensa en el tanque de almacenamiento de biogás y en las tuberías. Las tuberías en climas fríos deben colocarse de forma que se evite su congelación.

Las tuberías de biogás deben asegurarse de evitar la creación de sifones, puntos bajos (puntos V) o puntos con pendientes que apunten en otra dirección.

Todas las tuberías de biogás es necesario construirlos con una pendiente mínima del 0,5% para facilitar el drenaje del agua condensada que se acumula en su interior. Es necesario instalar una llave de paso en cada segmento con cambio de pendiente para drenar el agua condensada. El agua condensada debe fluir hacia el digestor o hacia los lugares de descarga de condensados cuando se instalen las tuberías de recogida de biogás. Construya siempre las tuberías de biogás con una pendiente mínima del 0,5%. [20]



*Figura 17: Eliminación del agua por condensación.*

*Fuente: El Biogás, INTA PRECOP.*

### 3.5.1 Selección del condensador

La empresa “MSP ENVIROMENT SYSTEMS Y PROJECTS” cuenta con 3 tipos de filtros:

- **Filtros de grava:** Mayoritariamente colocados después de la etapa de digestión anaerobia, estos filtros permiten eliminar los condensados y también filtrar cualquier suciedad o partículas sólidas provenientes del digestor. [21]
- **Potes de condensados:** Indispensables para eliminar los condensados en la línea de biogás y prevenir su llegada al gasómetro, antorcha u otros elementos del sistema. [21].
- **Cajas purgadoras automáticas:** Principalmente ubicados en los extremos de la línea o en puntos bajos de la misma, estos dispositivos actúan como sellos y permiten el drenaje seguro y automático de los condensados.[21]
- **Filtros cerámicos:** Utilizados principalmente en situaciones en las que se requiere utilizar el biogás en equipos de generación de energía (motores, micro- turbinas, calderas...) [21]

Por la naturaleza del proyecto los filtros a utilizar serán las cajas purgadoras

automáticas ya que el caudal del biogás es bajo y no justifica condensadores de gran capacidad.

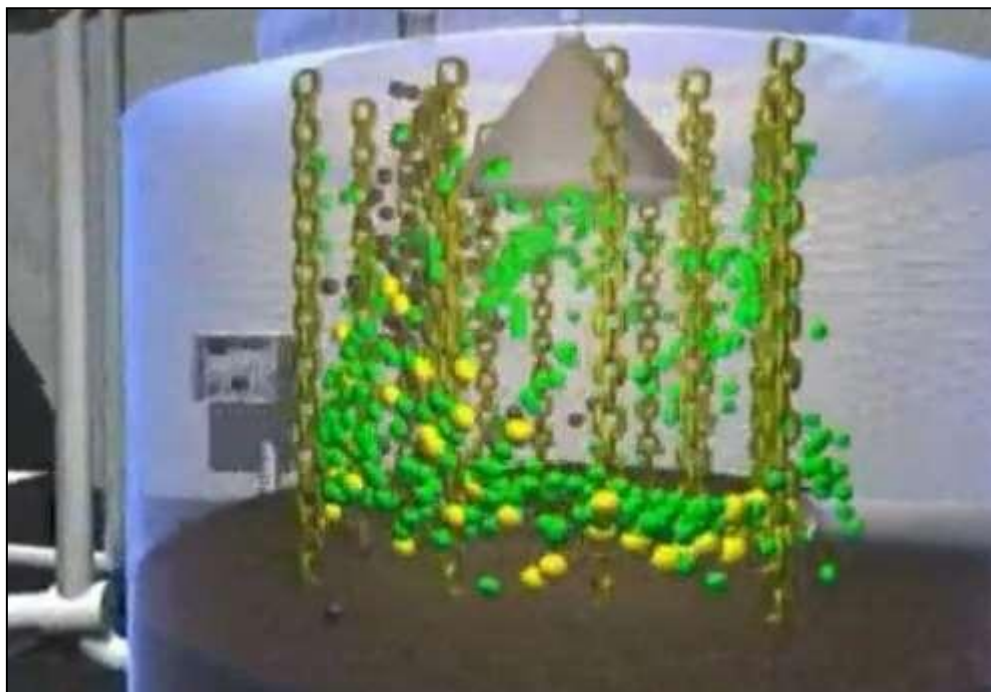


*Figura 18: Filtro por cajas purgadoras automáticas.*

*Fuente: MSP ENVIROMENT SYSTEMS Y PROJECTS*

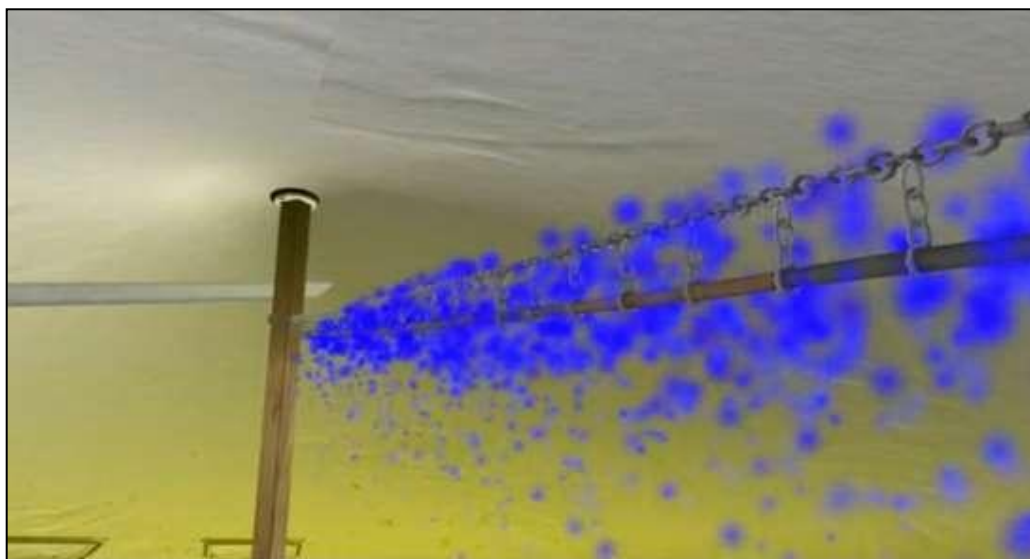
### **3.6 Desulfuración**

Para que el biogás pueda ser utilizada eficientemente es necesario desulfurar.



*Figura 19: Panta biológica de desulfuración.*

*Fuente: El Biogás, INTA PRECOP.*



*Figura 20: Desulfuración a partir de la inyección de oxígeno en la cámara de biogás.*

*Fuente: El Biogás, INTA PRECOP.*

### **3.6.1 Selección del Desulfurador:**

AwiDESULF es un desulfurizador con un sistema de análisis de gases que monitorea el contenido de oxígeno y la concentración de sulfuro de hidrógeno, ajustando

así el suministro de aire de forma adecuada.

Las especificaciones técnicas generales de sus desulfuradores son:

- Personalizado, preciso y beneficioso.
- Control automático del suministro de aire mediante una combinación avanzada de regulación PI y lógica difusa (FuzzyLogic).
- El área de regulación en funcionamiento automático se encuentra entre el 0% y el 1% de oxígeno (O<sub>2</sub>), según la concentración de H<sub>2</sub>S, con un límite de desconexión establecido en 2,4% de O<sub>2</sub>.
- Control individual de múltiples fermentadores.

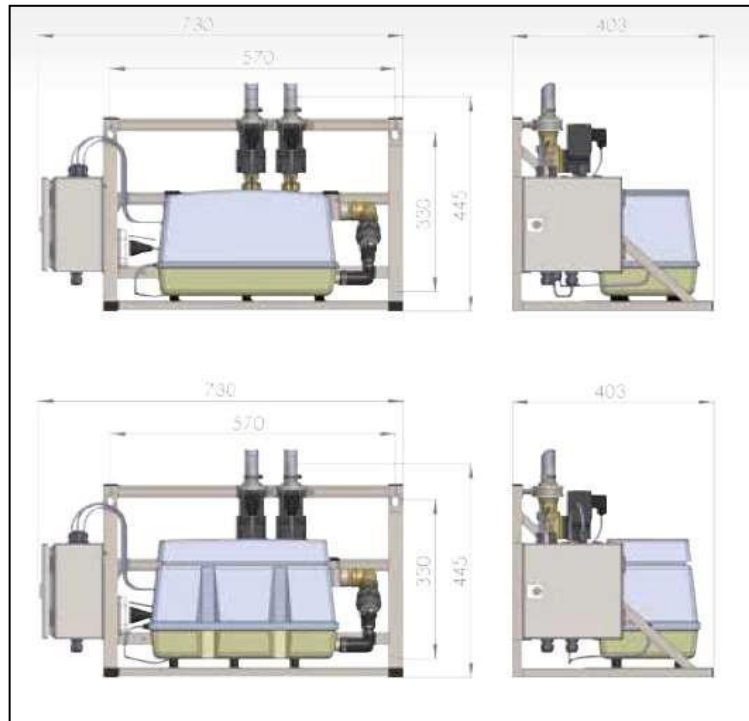
La empresa *DASTECH S.R.L.* cuenta con 4 tipos de desulfuradores en su catálogo:

*Tabla 12: Desulfuradores de DASTECH S.R.L.*

Datos generales	AWDESULF 100	AWDESULF 200	AWDESULF 300	AWDESULF 500	AWDESULF 1000
Volumen de biogás	Hasta 100 m <sup>3</sup>	Hasta 200 m <sup>3</sup>	Hasta 300 m <sup>3</sup>	Hasta 500 m <sup>3</sup>	Hasta 1000 m <sup>3</sup>
Medidas de montaje (AxAxP en mm)	730x445x403	730x445x403	730x580x403	730x445x403	730x445x403
Peso	≤24 kg	≤30 kg	≤39 kg	≤45 kg	≤80 kg
Temperatura ambiente	5 – 40 °C				
Humedad ambiente	0 - 8				
Tensión nominal	115 VAC / 230 VAC				

*Fuente: DASTECH S.R.L. Catálogo. Especificaciones técnicas AwiDESULF.*

Por el tamaño del proyecto y la cantidad de biogás que se producirá, el desulfurador adecuado es el modelo AWDESULF 100.



*Figura 21: Desulfurador AwiDESULF 100/200*

*Fuente: DASTEC S.R.L. Catálogo. Especificaciones técnicas AwiDESULF.*

### **3.7 Selección del generador eléctrico.**

Se escogió los generadores eléctricos de Aqua Limpia engineering porque son especialistas en generadores a biogás y cuentan con gran experiencia en este rubro, además de:

- Los generadores AQLgenset son resistentes y duraderos, ya que sus motores son reforzados para soportar las vibraciones generadas por la combustión del biogás.. [22]
- El rango de potencia para este tipo de equipo varía desde 10 kW hasta 500 kW. Los generadores están equipados con motores de bajas revoluciones, lo que prolonga su vida útil. [22]

Aqua limpia brinda las especificaciones técnicas de sus generadores:

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

Figura 22: Especificaciones técnicas de los generadores a biogás.

Fuente: Aqua limpia, Generadores a biogás.

Se escogerá el generador modelo AQL 10 ya que será destinado sólo para cubrir necesidades básicas dentro de la fábrica.



*Figura 23: Generador modelo AQL*

*Fuente: Aqua limpia, Generadores a biogás*



*Figura 24: Generadores sin gabinete.*

*Fuente: Aqua limpia, Generadores a biogás.*

Tomando en cuenta que se obtendrá 15,08 m<sup>3</sup> al día de biogás; entonces al mes (30 días) se podrá obtener 452,5 m<sup>3</sup> al mes.

Se sabe que el motor consume 0,65 m<sup>3</sup>/kW\*h. Entonces para 7 kW que genera en se consumirá 4,55 m<sup>3</sup>/h.

Sabiendo ésta equivalencia se calcula aproximadamente cuántos kW se podrá generar al mes.

$$\text{horas aproximadas de generación} = \frac{452,5 \text{ m}^3}{4,55 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 99,45 \text{ h}$$

$$99,45 \text{ h} * 7 \text{ kW} = 696,15 \text{ kWh}$$

Aproximadamente se podrá generar 696,14 kW al mes.

### 3.8 Puesta en marcha:

El proceso de arranque de los sistemas anaerobios implica introducir el agua residual en el sistema y mantener las condiciones óptimas para el crecimiento de la biomasa anaerobia.. [23]

Desde el inicio del arranque hasta alcanzar la estabilidad del proceso, lo más crucial es retener biomasa viable dentro del reactor y favorecer su acumulación, lo cual está estrechamente relacionado con la formación de gránulos o "pellets" con un tamaño ideal entre 1 y 3 mm de diámetro. La formación de estos gránulos es una característica distintiva de los sistemas de fermentación metanogénica de flujo ascendente en comparación con otros sistemas anaerobios. [23]

Según Monroy (1992), un reactor anaerobio estable requiere un entorno favorable para la actividad de la biomasa, así como un periodo de retención de sólidos suficiente. Continúa diciendo que la inestabilidad se rompe, por otra parte, la sobrecarga orgánica debido a un aumento en la concentración o caudal, así como las variaciones de temperatura, y la introducción de sustancias peligrosas en el reactor. [23]

Los elementos biológicos, químicos y físicos determinan la duración de la puesta en marcha.[23].

#### **IV IMPACTO AMBIENTAL Y EVALUACIÓN ECONÓMICA**

El diario Argentino “LA GACETA” le hizo una entrevista al secretario de Medio Ambiente Alfredo Montalván de dicho país sobre la vinaza y su potencial contaminante. El secretario de Medio Ambiente aclaró el impacto ambiental de la controvertida sustancia. El funcionario afirmó que la vinaza, como subproducto de la caña de azúcar, no es tóxica en sí misma y no representa un riesgo directo para la salud. Sin embargo, destacó que puede ser potencialmente contaminante si se vierte sin tratamiento en los cuerpos de agua. Por esta razón, se está promoviendo su tratamiento y reutilización en los ingenios.

En la entrevista le realizaron diversas preguntas las cuales las más resaltantes fueron las siguientes:

**¿Provoca algún perjuicio para la salud?**

No de manera directa.

**¿No es incómodo vivir constantemente con malos olores?**

El mal olor proviene de la descomposición de la materia orgánica, lo cual no es deseable y debe ser controlado. Cuando la vinaza se encuentra en lagunas, se produce calor, y los gases como el metano y otros que se originan debido a la descomposición de la materia orgánica se liberan hacia arriba y no quedan estancados.

**¿Y qué ocurre en el caso de los canales?**

Es necesario realizar limpiezas y evitar que el agua quede estancada en los canales. Para cada situación, se deben implementar medidas de mitigación y corrección adecuadas.

**¿Es posible utilizar el agua que contiene vinaza para riego?**

La vinaza actúa como un fertilizante de potasio. Cuando el agua se evapora, deja en el suelo las sales de potasio y la materia orgánica. Si se necesita regar, se requiere cierta calidad de agua. Por lo tanto, la vinaza se puede aplicar en el suelo y esperar a que llueva para que el suelo la absorba.

## **¿Cuál es el impacto ambiental generado por la vinaza?**

Una de las cuestiones preocupantes es que si la vinaza es vertida en un dique, embalse o río, la demanda biológica de oxígeno es muy elevada, agotando el oxígeno del agua y acelerando la descomposición, lo que puede resultar en la muerte de peces. Además, si no se maneja adecuadamente, puede salinizar los campos con sales de potasio. Por tanto, es crucial disponer de ella siguiendo protocolos específicos y evitando cualquier exceso.

En conclusión la vinaza es contaminante si no se trata anteriormente de verterlo a los drenes de Chiclayo lo cual la fábrica alcoholera no realiza.

### **4.1 Principales impactos ambientales causados por la vinaza.**

#### **4.1.1 Afectación directa al suelo, al agua**

Como bien mencionado anteriormente la vinaza saliniza los campos con sales de potasio y si se vierte a un embalse o a un río puede causar la muerte a los peces.

Dado que, en este caso, el suelo carece de potasio (0,3 a 0,5 meq/100 g de suelo) y que la vinaza es excepcionalmente rica en este elemento, la vinaza actuaría como fertilizante si se aplicara al suelo sin causarle ningún daño, es decir, sin tratarlo previamente. [24]

El suelo estará en las mismas condiciones productivas que al principio; la proporción de potasio puede mejorar con respecto a otros cationes, aunque son aumentos menores; y la salinidad no aumentó, lo que es una fuente de dudas sobre el uso de la vinaza. Pero lo más importante es que no se observarán modificaciones adversas. [24]

#### **4.1.2 Afectación directa al aire.**






Debido a la descomposición de la sustancia orgánica de la vinaza, existe un problema persistente de malos olores en las zonas donde se arroja la vinaza, normalmente en acequias y ríos. La vinaza produce calor cuando se encuentra en lagunas, es decir, cuando está incrustada o no tiene suficiente fluidez. El metano y otros gases generados por la descomposición de la materia orgánica se elevan en el aire y se dispersan a lo largo de una

amplia área, causando graves molestias a la población local. Es necesario atenuar este problema.

#### 4.1.3 Impactos ambientales actuales y los esperados.

Se utilizará los códigos de colores para establecer una jerarquía y distinguir correctamente los impactos ambientales más críticos o los impactos positivos.

*Tabla 13: Código de colores de jerarquías en la matriz leopold.*

VALOR	JERARQUÍA	CÓDIGO DE COLOR
>0	Positivo	
-13 A -88	Negativo irrelevante	
-89 A -176	Negativo moderado	
-177 A -264	Negativo severo	
< 264	Negativo crítico	

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

La relevancia del impacto ambiental se basa en la siguiente evaluación:

$$\text{IMPORTANCIA} = \pm(3 \text{ IN} + 2 \text{ EX} + \text{MO} + \text{PE} + \text{RV} + \text{SI} + \text{AC} + \text{EF} + \text{PR} + \text{MC})$$

Siendo: Intensidad (IN), extensión (EX), momento (MO), persistencia (PE), reversibilidad (RV), sinergia (SI), acumulación (AC), efecto (EF), periodicidad (PR), recuperabilidad (MC).

Se le dio valores numéricos para a cada una de estas características:

*Tabla 14: Intensidad del impacto ambiental.*

Intensidad (IN)	
Baja	1

<b>Media</b>	2
<b>Alta</b>	4
<b>Muy alta</b>	8
<b>Total</b>	12

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold.*

*Tabla 15: Extensión del impacto ambiental.*

<b>Extensión (EX)</b>	
<b>Puntual</b>	1
<b>Parcial</b>	2
<b>Extenso</b>	4
<b>Total</b>	8
<b>Crítica</b>	12

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 16: Momento del impacto ambiental.*

<b>Momento (MO)</b>	
<b>Más de 10 años</b>	1
<b>1 a 10 años</b>	2
<b>Menos de un año</b>	3
<b>Inmediato</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 17: Persistencia del impacto ambiental.*

<b>Persistencia (PE)</b>	
<b>Fugaz</b>	1

<b>1 a 10 años</b>	2
<b>11 a 15 años</b>	3
<b>Más de 15 años</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 18: Reversibilidad del impacto ambiental.*

<b>Reversibilidad (RV)</b>	
<b>Menos de 1 año</b>	1
<b>5 a 10 años</b>	2
<b>11 a 15 años</b>	3
<b>Más de 15 años</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 19: Sinergia del impacto ambiental.*

<b>Sinergia (SI)</b>	
<b>No sinérgico</b>	1
<b>Sinérgico</b>	2
<b>Muy sinérgico</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 20: Acumulación del impacto ambiental.*

<b>Acumulación (AC)</b>	
<b>Simple</b>	1
<b>Acumulable</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 21: Efecto del impacto ambiental.*

<b>Efecto (EF)</b>	
<b>Indirecto</b>	1
<b>Directo</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 22: Periodicidad del impacto ambiental.*

<b>Periodicidad (PR)</b>	
<b>Aperiódico o espontáneos</b>	1
<b>Cíclicos o intermitente</b>	2
<b>Continuo</b>	4

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

*Tabla 23: Recuperabilidad del impacto ambiental.*

<b>Recuperabilidad (MC)</b>	
<b>Inmediata</b>	1
<b>Menos de un año</b>	2
<b>5 a 10 años</b>	4
<b>Mitigable o compensable</b>	8
<b>Irrecuperable</b>	12

*Fuente: Evaluación del impacto ambiental – Matriz leopold*

A continuación, se mostrará un resumen de la matriz de leopold con los impactos ambientales actuales causado por el deshecho de la vinaza no tratada en las acequias cercanas. La matriz detallada se podrá encontrar en anexos.

Tabla 24: Impactos ambientales actuales.

Antes de la construcción del reactor UASB		Olores causados el aumento de temperatura en la Vinaza			Desecho de la vinaza hacia las acequias cercanas		
COMPONENTE	ACTIVIDADES SECUNDARIAS	I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO
	FACTORES AMBIENTALES						
Geología, Geomorfología y Fisiografía	Alteración de las geoformas	0	0	0,00	-44	2,8	-123,20
	Estabilidad geomorfológica	0	0	0,00	-44	2,8	-123,20
Suelo	Calidad del suelo	0	0	0,00	-91	9,6	-873,60
	Erosión	0	0	0,00	-58	4,4	-255,20
	Compactación	0	0	0,00	-40	2,2	-88,00
	Uso potencial del suelo	0	0	0,00	-92	9,6	-883,20
	Vibraciones	0	0	0,00	0	0	0,00
Aire	Calidad de aire	-61	5,9	-359,90	-44	3,1	-136,40
	Niveles de ruido	0	0	0,00	0	0	0,00
	Radiaciones no ionizantes	-20	1	-20,00	0	0	0,00
Aspectos sociales	Demografía	0	0	0,00	-38	4	-152,00
	Calidad de vida	-71	6,3	-447,30	-54	4,4	-237,60
	Conflictos sociales	-66	4,8	-316,80	-45	4	-180,00
	Salud	-45	2,2	-99,00	-48	4	-192,00
	Seguridad	-13	1	-13,00	-13	1	-13,00
Aspectos económicos	Bienes y servicios económicos	0	0	0,00	-13	1	-13,00
	Impuestos y tributaciones	0	0	0,00	13	1	13,00
Aspectos culturales	Costumbres locales y tradiciones	-18	1,1	-19,80	-48	4	-192,00

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar los impactos ambientales más críticos y severos son: La condición del suelo, uso potencial del suelo, la calidad del aire, salud y costumbres locales y tradiciones. Como consecuencia de esto el bienestar de los residentes cercanos. a las acequias es baja y esto conlleva a conflictos sociales entre la población y la destilería.

Estos impactos ambientales, son los llamados a mitigar. Con la implementación del reactor UASB se espera que se reduzcan; en el mejor de los casos; a un impacto irrelevante.

A continuación se mostrará un resumen de la matriz de Leopold con los impactos ambientales esperados luego de la implementación del reactor UASB. La matriz detallada se podrá encontrar en anexos.

Tabla 25: Impactos ambientales luego de la implementación del reactor UASB.

Luego de la implementación del reactor UASB		Operación de Vehículos Motorizados para transporte de equipos y personal			Olores causados el aumento de temperatura en la Vinaza			Limpieza del Reactor UASB (lodos)			Emisiones del generador a biogás		
COMPONENTE	ACTIVIDADES SECUNDARIAS	I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO	I	M	IMPACTO
	FACTORES AMBIENTALES												
Geología, Geomorfología y Fisiografía	Alteración de las geoformas	-19	1	-19,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Estabilidad geomorfológica	-20	1,3	-26,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
Suelo	Calidad del suelo	-22	1,3	-28,60	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Erosión	-28	1,4	-39,20	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Compactación	-28	1,4	-39,20	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Uso potencial del suelo	-21	1,3	-27,30	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Vibraciones	-16	1	-16,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
Aire	Calidad de aire	-21	1	-21,00	-26	1,6	-41,60	-13	1	-13,00	-18	1	-19,80
	Niveles de ruido	-20	1	-20,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Radiaciones no ionizantes	0	0	0,00	-20	1	-20,00	0	0	0,00	-13	1	-13,00
Aspectos sociales	Demografía	16	1	16,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00
	Calidad de vida	17	1	17,00	-13	1	-13,00	-13	1	-13,00	-16	1	-16,00
	Conflictos sociales	0	0	0,00	-13	1	-13,00	0	0	0,00	-13	1	-13,00
	Salud	-17	1	-17,00	-13	1	-13,00	-13	1	-13,00	-17	1	-18,70
	Seguridad	-16	1	-16,00	-13	1	-13,00	0	0	0,00	0	0	0,00
Aspectos económicos	Bienes y servicios económicos	0	0	0,00	0	0	0,00	-16	1	-16,00	0	0	0,00
	Impuestos y tribuciones	13	1	13,00	0	0	0,00	18	1,1	19,80	16	1	16,00
Aspectos culturales	Costumbres locales y tradiciones	-13	1	-13,00	-18	1,1	-19,80	-13	1	-13,00	-13	1	-13,00

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar los impactos esperados luego de la implementación del reactor UASB son en su totalidad irrelevantes y se espera que todos los impactos negativos críticos causado por el verter la vinaza a las acequias, sean reducidas a un impacto negativo irrelevante, tanto para la población, animales y plantas.

#### 4.1.4 Datos cuantificados de la reducción de contaminantes:

Las particularidades físico químicas que encontramos en la vinaza los observamos en la “*Tabla 26: Propiedades fisicoquímicas de la vinaza.*”. De ésta tabla se extrae la información de la cantidad aproximada de contaminantes que dejamos de verter en los drenes.

*Tabla 26: Propiedades fisicoquímicas de la vinaza.*

<b>Características</b>	<b>Promedios</b>
Temperatura °C	78,0 – 82,0
pH	3,7 – 4,5
Sólidos totales % ppm	9 – 12
DQO mg/l	80 000 – 110 000
DBO <sub>5</sub> mg/l	45 000 – 50 000
Cloruros mg/l	5 000 - 6 000
Sulfatos mg/l	4 000 – 8 000
Sodio mg/l	400 – 600
Potasio mg/l	8 000 – 12 000
Nitrógeno total mg/l	1 000 – 1 200
Fósforo mg/l	200 – 300
Calcio mg/l	2 000 – 3 500

*Fuente: Evaluación del potencial de la producción de biogás a partir de vinazas en un biodigestor anaeróbico.*

Se sabe que las unidades de “ppm” (partículas por millón) son mg/l, por ende todos los promedios en la tabla anterior están dados en ppm. Sabiendo estos datos, se reemplaza el dato promedio de vinaza que se vierte diariamente al dren y obtenemos los contaminantes promedios. Estos datos los observamos en la siguiente tabla.

Tabla 26: Partículas por millón que se dejarán de emitir diariamente al medio ambiente.

Características	Promedios
Cloruros ppm	750 000 000
Sulfatos ppm	600 000 000
Sodio ppm	60 000 000
Potasio ppm	1 200 000 000
Nitrógeno total ppm	150 000 000
Fósforo ppm	30 000 000
Calcio ppm	300 000 000

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, mostramos el particular daño que puede causar al medio ambiente cada una de éstas características.

- **Cloruros:** Todos los cultivos necesitan niveles ínfimos de cloruro, un micronutriente esencial. Sin embargo, los daños por salinidad y la toxicidad están frecuentemente relacionados con él. Las plantas absorben el cloruro como ion  $\text{Cl}^-$  de la solución del suelo. En algunas plantas, el cloruro es crucial para procesos como la fotosíntesis, la regulación osmótica y el control de enfermedades vegetales. [25]

- **Sulfatos:** Cuando se consumen en cantidades superiores a la capacidad de absorción del intestino, los sulfatos y otros iones, como el magnesio o los fosfatos, pueden actuar como laxantes. [26]

El agua con concentraciones superiores a 1600 ppm de sulfatos causa diarrea en animales durante la primera semana, aunque este efecto desaparece posteriormente. Estudios realizados con agua de grifo y voluntarios humanos indicaron un efecto laxante en concentraciones de 1000-1200 mg/l. [26]

- **Sodio:** El sodio reacciona de forma rápida con el agua, así como con nieve y hielo,

para formar hidróxido de sodio e hidrógeno. Este compuesto químico no es móvil en estado sólido, pero tiene una alta capacidad de absorber la humedad. Cuando se encuentra en estado líquido, el hidróxido de sodio se filtra rápidamente en el suelo, lo que podría contaminar las reservas de agua.

- **Potasio:** El potasio es el nutriente que se absorbe en mayor cantidad por el pasto. Si no se dispone de cantidades adecuadas de potasio, tanto la tasa de crecimiento como el rendimiento se verán limitados. Sin embargo, un exceso de potasio aplicado puede suponer un riesgo para que los animales desarrollen hipomagnesemia. [27]
- **Nitrógeno y Fósforo:** El nitrógeno, el elemento más abundante en la atmósfera., junto con el fósforo, son los nutrientes naturales que se encuentran en los medios acuáticos. Estos nutrientes favorecen el crecimiento de algas y plantas y proporcionan alimento y hábitat a peces, moluscos y otras criaturas. Sin embargo, el aire, el agua y el suelo pueden contaminarse cuando entran en un medio cantidades excesivas de nitrógeno y fósforo, normalmente como resultado de numerosas actividades humanas.

## 4.2 Análisis costo-beneficio

### 4.2.1 Costos de inversión en obras civiles y estructuras:

Los egresos de un biodigestor incluyen los costos de inversión, que abarcan la ingeniería, la obra civil, los equipos que facilitan el proceso de biodigestión y el personal encargado de la planta (en este caso, será subcontratado). [28]

Los ingresos se generan a través de la cantidad de energía que deja de consumir la empresa.

Las obras de ingeniería civil principales requeridas son las siguientes: [28]

- Trabajo preliminar:

Preparación y acondicionamiento del terreno mediante limpieza y nivelación.

- Estructuras metálicas del reactor UASB

*Tabla 27: Inversión en obras civiles y estructuras.*

DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
LIMPIEZA Y NIVELACION DE TERRENO	<i>m<sup>2</sup></i>	0	0,00	0,00
<b>ESTRUCTURAS METÁLICAS DEL REACTOR UASB</b>				
ACERO INOXIDABLE AUTENTÍSCO (PLANCHA 1.22 X 2.44 METROS)	<b>unid</b>	60	64,07	3 844,20
<b>TOTAL</b>				3 844,20

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.2.2 Accesorios y equipos necesarios para la obtención de biogás y generación de energía eléctrica:**

A continuación, en la tabla 28 mostraremos los accesorios necesarios para la obtención del biogás y su posterior utilización en la generación de energía eléctrica.:

Tabla 28: Accesorios para la obtención de biogás y generación de energía eléctrica.

ACCESORIOS	UNIDADES	CANTIDAD	COSTO (USD)	TOTAL (USD)
Tuberías polietileno	Unid.	5	0,8	4,00
Tuberías Acero	Unid.	4	4,00	16,00
Codos polietileno	Unid.	5	0,30	1,50
Codos Acero	Unid.	4	1,00	4,00
Medidor de gas	Unid.	1	170,00	170,00
Válvula de seguridad	Unid.	1	80,00	80,00
Condensador	Unid.	1	8,00	8,00
Filtro de retención de H <sub>2</sub> S	Unid.	1	275,00	275,00
Medidor de caudal de biogás	Unid.	1	115,00	115,00
Generador	Unid.	1	1 300,00	1 300,00
			<b>TOTAL</b>	<b>1 973,50</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.2.3 Inversiones:

#### 4.2.3.1 *Inversión intangible*

La inversión diferida se refiere al conjunto de activos necesarios para el funcionamiento de la planta de biogás propuesta. [28] La empresa que brindará el generador se hará cargo de los gastos de preparación o puesta en marcha, asistencia técnica y entrenamiento del personal.

#### 4.2.3.2 *Capital de trabajo*

El capital de trabajo es la inversión que circulante que facilitará la operatividad normal de la infraestructura productiva del proyecto. [28] Para

determinar el capital de trabajo, se tienen en cuenta tanto los costos variables como los costos fijos, como se indica en la tabla.

*Tabla 29: Capital de trabajo*

<b>Descripción</b>	<b>Costo (USD)</b>
<b>Comunicaciones</b>	50,00
<b>Gastos de materiales</b>	50,00
<b>TOTAL</b>	100,00

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.2.3.3 Inversión total**

El costo total para llevar a cabo el proyecto se estima en la cantidad de: \$ 161 258,90.

*Tabla 30: Inversión total.*

<b>Descripción</b>	<b>COSTO (USD)</b>
<b>Inversión tangible</b>	
<b>Construcción y mano de obra</b>	3 844,20
<b>Accesorios y equipos</b>	1 973,50
<b>Inversión intangible</b>	0.00
<b>Capital de trabajo</b>	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>5 917,70</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.2.3.4 Gastos administrativos**

Está fundamentado en los gastos necesarios para mantener el funcionamiento operativo y administrativo de la planta de biogás. [28]

Se contará con el siguiente puesto:

Tabla 31: Áreas y puestos.

Área	Puestos	Cantidad	Sueldo Anual
			(USD)
Control de calidad	Analista de laboratorio	1	300,00

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 Costo de generación del kWh:

Se determina a través del costo teórico de generar energía eléctrica. (LCOE).

Se halla de la siguiente manera:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}}$$

$t$  = Vida estimada de la Instalación.

$i$  = Inversión Inicial.

$Mt$  = Costes de operación y mantenimiento.

$E$  = Energía generada durante la vida del sistema.

$r$  = Tasa de descuento.

- El proyecto está estimada para una vida promedio de 20 años.
- El costo anual para el mantenimiento es de \$ 1000.
- La tasa de descuento es del 18
- El costo anual para el correcto funcionamiento es:

Tabla 32: Costo anual para el correcto funcionamiento.

Costo anual para el correcto funcionamiento	
Gastos de entrenamiento de personal	300,00
Comunicaciones	50,00
Gastos de materiales	50,00
Control de calidad	300,00
Coste de mantenimiento	300,00
<b>TOTAL</b>	<b>1 000,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

- En consecuencia, el costo de energía asciende a:

$$\text{LCOE} = \$ 0,05 \text{ por cada kWh}$$

#### 4.2.5 Valor Actual Neto (VAN):

$$\text{VAN} = -\text{INV} + \sum_{1}^{n=20} \frac{F_j}{(1+r)^n}$$

Dónde:

*INV*: Inversión total del proyecto en dólares.

*Fj*: Resultado de la resta de las entradas y los desembolsos.

*n*: Tiempo de duración del proyecto.

*r*: Tasa de interés.

$$\text{VAN} = \$18 715,19$$

#### 4.2.6 Tasa interna de retorno (TIR):

La tasa de retorno es el interés generado sobre el saldo no recuperado de una inversión. El método general utilizado para calcular la tasa de retorno es el siguiente:

$$VAN = -INV + \sum_{t=1}^{n=20} \frac{F_t}{(1 + TIR)^n} = 0$$

Dónde:

*INV*: Inversión total del proyecto en dólares.

*F<sub>t</sub>*: Resultado de la resta de las entradas y los desembolsos.

*n*: Tiempo de duración del proyecto.

*VAN*: Valor actual neto.

$$TIR = 28\%$$

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES:

- El diseño del reactor UASB se realizó en base a los datos tomados durante el mes de diciembre del 2017, periodo de máxima producción del alcohol, en ese mes se produjo aproximadamente 11538 litros de alcohol, por ende, se genera de 140 - 150 m<sup>3</sup> de vinaza diaria. El promedio de máxima demanda de la fábrica de alcohol Bary es de 44,33 kW a una tensión de 10 kV. Lo cual es equivalente a 1.48 kW por día.
- Con la cantidad de vinaza generada en el periodo de máxima producción de alcohol se diseñó el reactor UASB. Luego de realizar una extensa serie de cálculos considerando todas las variables, se sugiere un reactor como solución. de 12,15 m de alto por 1,66 m de radio base, en su interior una campana con un área de abertura de 2,10 m<sup>2</sup>, 0,43 m de alto y un radio mayor de 1,45 m, para que utilice 187,5 m<sup>3</sup>/día

de vinaza y así no verter nada a los drenes aledaños. El reactor UASB cuenta con un volumen de 105,47 m<sup>3</sup>, una retención hidráulica media de 13,5 horas y está construido de acero inoxidable austenítico.

- Con base a la máxima producción de vinaza se reveló un aproximado de 15,08 m<sup>3</sup>/día de biogás el cual se utilizará en su totalidad para convertirlo en energía eléctrica. Para convertir el biogás a metano utilizable en generadores eléctricos, tuvo que pasar por una caja purgadora automática y por un Desulfurador modelo AWDESULF 100. Luego de que el biogás ha pasado por los dos filtros, éste sirve para que el generador Aqualimpia modelo AQL 10, que tiene una potencia útil de 7 kW, generen mensualmente 696,15 kWh.
- La cantidad de agentes contaminantes, en promedio, que dejaremos de emitir son las siguientes:
  - ✓ Cloruros: 750 000 000 ppm
  - ✓ Sulfatos: 600 000 000 ppm
  - ✓ Sodio: 60 000 000 ppm
  - ✓ Potasio: 1 200 000 000 ppm
  - ✓ Nitrógeno: 150 000 000 ppm
  - ✓ Fósforo: 30 000 000 ppm
  - ✓ Calcio: 300 000 000 ppm
- Con la construcción e implementación del reactor UASB la vinaza, en su totalidad, ya no serán vertidas en los drenes o acequias aledañas a la fábrica de alcohol, por ende, se reducirá notablemente la contaminación ambiental que causa dicha fábrica, se mejorará la calidad de aire y vida de los pobladores de la zona ya que los suelos ya no serán salinizados y la zona estará libre de malos olores. El coste de cada kWh que se genera es de \$ 0,05 , un VAN de \$18 715,19 y TIR de 28%.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Analizar químicamente las bacterias para elegir eficientemente el tipo de bacteria a utilizar.

- Realizar un estudio detallado de la desulfurización a partir de la inyección en la cámara de biogás para verificar si es más eficiente ese sistema o la elección de una máquina desulfurador.
- La puesta en marcha se recomienda realizarse en compañía de un especialista en reactores UASB, puesto que, es muy delicado el proceso de adecuación de los microorganismos.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] H. G. Asís, F. Dopazo y P. J. Gianoglio, «Producción de energía a partir de Biogás obtenido de residuos sólidos urbanos.,» Grupo GISENER, San Francisco. Provincia de Córdoba, Argentina , 2009.
- [2] M. T. Varnero Moreno, «Manual del Biogás,» Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables, Santiago de Chile, 2011.
- [3] C. Velazco Hurtado, «Tecnologías de desulfurización de gases,» *Revista Metalúrgica*, nº 26, p. 30, 2005.
- [4] M. Bermúdez, «Contaminación y Turismo Sostenible,» CETD SA, 2010.
- [5] A. García O. y C. A. Rojas C., «Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos,» 2006.
- [6] C. H. H. Lorenzo, «Diseño de un Biodigestor para el Camal Municipal de Cutervo Utilizando Estiercol de Ganado Bovino,» Lambayeque - Perú, 2013.
- [7] A. R. Salvador, «Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles,» *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 104, nº 2, p. 332, 2010.
- [8] Energiza, «Energiza. Procesos de conversión de Biomasa en energía.,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.energiza.org/index.php/biomasa-2/56-procesos-de-conversion-de-biomasa-en-energia>.
- [9] B. I. Jato, «Diseño e Implantación de un Reactor Anaeróbico UASB en la industria de los lácteos para su uso como fuente de energía en cogeneración,» Madrid, 2015.
- [10] F. Hábitat, «Biodigestores, Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes.,» Quimbaya, Quindío, 2005.

- [11] M. Márquez Vázquez y S. Martínez González, «Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendentes (RAFA's o UASB),» Centro Tecnológico Aragón, 2011.
- [12] Y. L. Cobos Becerra y R. Sierra Ordoñez, «Evaluación del potencial de la producción de biogás a partir de vinazas en un biodigestor anaeróbico.,» Bucaramanga, 2007.
- [13] Y. Lorenzo Acosta, F. Domenech López, F. Eng Sánchez, O. Almazán del Olmo y J. . M. Chanfón Curbelo, «Tratamiento industrial de vinazas de destilerías en reactores UASB,» *Tecnología Química*, vol. XXXV, nº 1, pp. 108-123, 2015.
- [14] Y. Lorenzo Acosta, A. Valdés Delgado, F. Domenech López, L. Rojas Sariol y F. Eng Sánchez, «Cálculos técnicos en el diseño de una planta de biogás. Caso de estudio "Tratamiento de vinazas de destilerías en reactores UASB",» *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.*, vol. 48, nº 2, pp. 29 - 34, 2014.
- [15] A. M. Burbano Cendales, «Utilización del metano generado en un Reactor anaeróbico como fuente de energía en una industria de gaseosas.,» Universidad de Salle, Bogotá,D.C, 2006.
- [16] Ibarra Echeverría, Mauricio; Núñez Solís, Eduardo; Huerta Ibáñez, José Miguel, Manual: Aceros Inoxidables, Cerillos, Chile, 2010.
- [17] Bonnet, *Acero Inoxidable. Catálogo de producto*, Canarias, España, 2018.
- [18] D. A. Páez Pérez, *Propiedades mecánicas de un acero inoxidable auténtico AISI 304 laminado en caliente.*, Sartenejas: Universidad Simón Bolívar., 2004.
- [19] M. Bragachini, G. Urrets Zavalía, F. Ustarroz y M. Bragachini, «El Biogás,» INTA PRECOP, 2011.
- [20] A. LIMPIA, «Reducción de condensados,» 2017.
- [21] M. E. S. Y. PROJECTS, «Filtros de Grava y Cerámicos,» 2018. [En línea]. Available:

<http://www.mspesp.com/filtros.html>.

- [22] A. limpia, *Generadores a biogás*, Uelzen, Alemania, 2013-2014.
- [23] Pacheco, J, *Arranque de un reactor anaeróbico*, 2003.
- [24] L. Gaceta., «La Gaceta. El riego controlado con vinaza en los campos ni perjudica al suelo ni al cañaveral,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.lagaceta.com.ar/nota/631515/economia/riego-controlado-vinaza-campos-ni-perjudica-al-suelo-ni-al-canaveral.html>.
- [25] SMART Fertilizer Management, «SMART Fertilizer Management,» 12 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/chloride/>.
- [26] GOVERN ILLES BALEARS, «GOVERN ILLES BALEARS,» Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.caib.es/sites/salutambiental/es/sulfats-26202/>.
- [27] Yara Iberian, «YARA Knowledge grows,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.yara.es/nutricion-vegetal/praderas/potasio-rendimiento-praderas/>.
- [28] P. F. Paiva Periche, «Propuesta de aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa rico cerdo F y G S.A.V, para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad.,» USAT, Chiclayo, 2016.
- [29] R. O. Cáceres Díaz, «Biodigestor. Tecnología amigable para disminuir la contaminación ambiental.,» 2014.
- [30] A. R. Cantero S., «Generación de Energía Eléctrica a partir del Biogás proveniente de la Biodigestión Anaeróbica de Vinaza,» Asunción, Paraguay, 2013.
- [31] P. Lezcano y L. M. Mora, «Las Vinazas de destilería de alcohol, Contaminación ambiental o tratamiento para evitarlo,» VII Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos, 2012.

- [32] C. Molina Bentacourt y W. Quiñonez Becerra, «Biodegradación anaeróbica de vinaza generada en la destilería soderal y aprovechamiento energético del biogás como medio para bajar el impacto de gases de efecto invernadero,» Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, 2012.
- [33] I. A. G. Vera, «Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales,» Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente., Lima, 1996.
- [34] J. A. P. Mende, «Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación de pequeños ganaderos y lecheros,» Santiago de Chile, 2010.
- [35] A. B. Buhigas, «Sistema de biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos,» Universidad Carlos III de Madrid, Estelí - Nicaragua, 2010.
- [36] I. Corona Zúñiga, «Biodigestores,» Hidalgo, 2007.
- [37] A. Guevara Vera, «Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales,» Lima, 1996.
- [38] A. I. GUTIÉRREZ JIMÉNE, «Modelación de un Intercambiador de Calor Vertical Tipo"U" Utilizado en Sistemas de Enfriamiento Aprovechando el Frio del Subsuelo- Edición Única,» Tesis de maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey- México, 2003.
- [39] O. A. Jaramillo, «INTERCAMBIADORES DE CALOR,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2007.

## VII ANEXOS

Tabla 33: Listado de equipos completos de la fábrica.

CANTIDAD	EQUIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	FUNCIÓN
5	Tanques de propagación de levadura	-	4m <sup>3</sup>	Tanque en el cual se cultivará la levadura.
2	Cuba de fermentación	-	8m <sup>3</sup>	Tanque en el cual se mezclará la melaza con la levadura.
4	Tanques de almacén de alcohol	-	15m <sup>3</sup>	Tanque en el cual se almacena el alcohol producido.
5	Motor	1,5 hp	-	Mezclado en los tanques de propagación de la levadura.
7	Motor	2 hp	-	Mezclado en los tanques de fermentación.
1	Bomba	1,5 hp	-	Para llevar la levadura hacia los tanques de propagación.
2	Bomba	2 hp	-	Para llevar la melaza a la torre de destilación.
1	Bomba	1 hp	-	Para llevar el alcohol hacia los contenedores de almacenamiento
1	Compresor de aire	1 hp	-	Para llevar la melaza a la cuba de fermentación
1	Tanque Homogeneizador	-	15m <sup>3</sup>	Tanque en el cual se homogeniza la melaza.
1	Tanque de agua blanda	-	-	Tanque dónde se almacena el agua blanda.
1	Tanque de agua caliente	-	-	Tanque dónde se almacena el agua caliente del sistema.
1	Columna Mostera	-	-	Separa el alcohol del mosto.
1	Columna Depuradora	-	-	Es dónde se separan los esteres, aldehídos, cetonas, etc.
1	Columna rectificadora	-	-	Separa el alcohol etílico con los demás líquidos con puntos de ebullición próximos.

Fuente: Elaboración propia

## IMPACTO AMBIENTAL DETALLADO ACTUAL

Tabla 34: Impacto ambiental actual, olores.

FACTOR AMBIENTAL	Olores causados el aumento de temperatura en la Vinaza													
	±	IN	EX	MO	PE	RV	AC	MC	SI	EF	PR	I	M	
Alteración de las geofomas	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estabilidad geomorfológica	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calidad del suelo	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Erosión	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Compactación	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uso potencial del suelo	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vibraciones	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Calidad de aire	-1	8	8	4	1	1	4	1	2	4	4	-61	5.9	
Niveles de ruido	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Radiaciones no ionizantes	-1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	4	-20	1	
Demografía	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Calidad de vida	-1	8	12	4	1	1	4	1	4	4	4	-71	6.3	
Conflictos sociales	-1	4	12	4	4	4	4	4	2	4	4	-66	4.8	
Salud	-1	2	4	3	2	2	4	8	4	4	4	-45	2.2	
Seguridad	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1	
Bienes y servicios económicos	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Impuestos y tributaciones	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Costumbres locales y tradiciones	-1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	-18	1.1	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Impacto ambiental actual. Deshecho de la vinaza.

FACTOR AMBIENTAL	Deshecho de la vinaza hacia las acequias cercanas													
	±	IN	EX	MO	PE	RV	AC	MC	SI	EF	PR	I	M	
Alteración de las geoformas	-1	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	-44	2,8	
Estabilidad geomorfológica	-1	2	4	2	4	4	4	4	4	4	4	-44	2,8	
Calidad del suelo	-1	12	12	3	4	4	4	4	4	4	4	-91	9,6	
Erosión	-1	4	8	2	4	4	4	4	4	4	4	-58	4,4	
Compactación	-1	1	4	1	4	4	4	4	4	4	4	-40	2,2	
Uso potencial del suelo	-1	12	12	4	4	4	4	4	4	4	4	-92	9,6	
Vibraciones	-1											0	0	
Calidad de aire	-1	4	4	4	1	1	4	2	4	4	4	-44	3,1	
Niveles de ruido	-1											0	0	
Radiaciones no ionizantes	-1											0	0	
Demografía	-1	4	4	2	4	1	4	2	2	1	2	-38	4	
Calidad de vida	-1	4	8	3	4	1	4	2	4	4	4	-54	4,4	
Conflictos sociales	-1	4	4	2	4	1	4	2	4	4	4	-45	4	
Salud	-1	4	4	2	4	3	4	3	4	4	4	-48	4	
Seguridad	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1	
Bienes y servicios económicos	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1	
Impuestos y tribuciones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	1	
Costumbres locales y tradiciones	-1	4	4	4	4	1	4	3	4	4	4	-48	4	

Fuente: Elaboración propia.

## IMPACTO AMBIENTAL DETALLADO LUEGO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL REACTOR UASB

*Tabla 36: Impacto ambiental póstumo. Operación de vehículos.*

FACTOR AMBIENTAL	Operación de Vehículos Motorizados para transporte de equipos y personal													
	±	IN	EX	MO	PE	RV	AC	MC	SI	EF	PR	I	M	
Alteración de las geoformas	-1	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1	-19	1	
Estabilidad geomorfológica	-1	1	1	4	2	1	1	1	1	4	1	-20	1,3	
Calidad del suelo	-1	1	1	4	2	1	1	2	2	4	1	-22	1,3	
Erosión	-1	1	2	3	2	2	4	3	2	4	1	-28	1,4	
Compactación	-1	1	2	3	2	2	4	3	2	4	1	-28	1,4	
Uso potencial del suelo	-1	1	1	4	2	2	1	1	4	1	1	-21	1,3	
Vibraciones	-1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	1	
Calidad de aire	-1	1	1	4	1	1	1	1	2	4	2	-21	1	
Niveles de ruido	-1	1	1	4	1	1	1	1	2	4	1	-20	1	
Radiaciones no ionizantes												0	0	
Demografía	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	16	1	
Calidad de vida	1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	1	17	1	
Conflictos sociales												0	0	
Salud	-1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	1	-17	1	
Seguridad	-1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	1	
Bienes y servicios económicos												0	0	
Impuestos y tributaciones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	1	
Costumbres locales y tradiciones	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1	

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 37: Impacto ambiental póstumo. Limpieza del Reactor UASB.

FACTOR AMBIENTAL	Limpieza del Reactor UASB												
	±	IN	EX	MO	PE	RV	AC	MC	SI	EF	PR	I	M
Alteración de las geoformas	-1											0	0
Estabilidad geomorfológica	1											0	0
Calidad del suelo	-1											0	0
Erosión	-1											0	0
Compactación	-1											0	0
Uso potencial del suelo	-1											0	0
Vibraciones	-1											0	0
Calidad de aire	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1
Niveles de ruido	-1											0	0
Radiaciones no ionizantes	-1											0	0
Demografía	-1											0	0
Calidad de vida	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1
Conflictos sociales	-1											0	0
Salud	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1
Seguridad	-1											0	0
Bienes y servicios económicos	-1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	1
Impuestos y tribuciones	1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	18	1,1
Costumbres locales y tradiciones	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1

Fuente: Elaboración propia.


Tabla 38: Impacto ambiental póstumo. Emisiones del generador.

FACTOR AMBIENTAL	Emisiones del generador a biogás												
	±	IN	EX	MO	PE	RV	AC	MC	SI	EF	PR	I	M
Alteración de las geoformas	-1											0	0
Estabilidad geomorfológica	-1											0	0
Calidad del suelo	-1											0	0
Erosión	-1											0	0
Compactación	-1											0	0
Uso potencial del suelo	-1											0	0
Vibraciones	-1											0	0
Calidad de aire	-1	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	-18	1,1
Niveles de ruido	-1											0	0
Radiaciones no ionizantes	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1
Demografía												0	0
Calidad de vida	-1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-16	1
Conflictos sociales	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1
Salud	-1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	-17	1,1
Seguridad	-1											0	0
Bienes y servicios económicos	1											0	0
Impuestos y tributaciones	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	16	1
Costumbres locales y tradiciones	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-13	1

Fuente: Elaboración propia.

**Recibo N° 251-33297319**  
 La Victoria/Chiclayo

Recibo por Consumo del 01/11/2016 al 30/11/2016



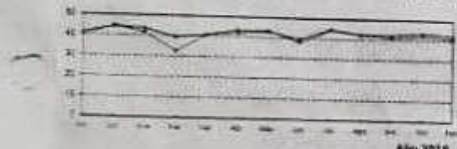
**Ensa**  
ENSA S.A. - EMPRESA NACIONAL DE SERVICIOS ELÉCTRICOS

**Noviembre-2016**

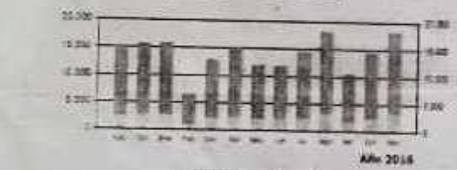
**CÓDIGO 25598344**

**Cliente:** GRUPO COMERCIAL BARI S.A.  
**R.U.C:** 20345048571  
**Dirección:** CENTR LA VICTORIA Mz 34 LT. 0004 0006  
**Referencia:** CENTR LA VICTORIA Mz 34  
**Ruta:** 2946-10703-4067  
**Tarifa:** NT4  
**Medidor:** Baja Tension Serie Medidor: 00000004253503 - Electron.  
**Tensión:** 10 KV N° Hros Medidor: 3  
**SED:** E-200352 Modalidad: Potencia Variable  
**Tipo Suministro:** Tensión-Aérea(CS-1) Inicio Contrato: 23/09/2009  
 Termino Contrato: 22/09/2017

Magnitud Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	50,613,4100	50,996,7400	383,3300	14,201,8125	Cargo Fijo		6,4300	6,43
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	9,439,9800	9,474,2300	34,2500	3,292,6125	Cargo por Regulatorio y Mantenimiento		16,41	16,41
Energía Activa Punta (kWh)	41,203,4300	41,495,5100	292,0800	14,969,1000	Energía Activa (B. 0,2000 x 16242 kWh)	14,201,8125	0,1435	4,983,94
Energía Reactiva (kVArh)	46,873,3800	46,978,9100	105,5300	18,585,4000	Energía Reactiva	10,764,2200	12,1150	536,95
Potencia Hora Punta (kW)	0,6200	0,6000	-0,0200	41,0000	Fac. Uso Redes Distas. Hf	42,5375	45,1900	2,923,42
Potencia Fuera Punta (kW)	0,6500	0,6300	-0,0200	42,5375	Fac. Activa Generador Hf			353,34
Potencia Fuera Punta (kW)					Alumbrado Puntos (Alcudor - S/ 0,0020)			353,34
Factor Calificación: 0,8793	Fac. Medic.: 50,0000	Fac. Transf.: 1,0250			Ingresos Compensatorio	1,0000	20,2000	20,20
					<b>SUS TOTAL:</b>			7115,57
					Imp. Grta. a los Valores			1,280,77
					CASE - OHP	42,5375	4,1000	174,40
					Ingresos Negocios	1,0000	0,9250	0,93
					Saldo por reembolso	1,0000	0,0500	0,05
					Diferencia de reembolso		0,0000	0,00
					Aporte Ley Imp. 28749 - 0,0079	14,201,8125	0,1076	1,442,27
					<b>TOTAL RECIBO DE NOVIEMBRE-2016</b>			<b>8710,60</b>
					Deuda Anterior (1 Mes)			994,40
					<b>Total a Pagar Incluye Aporte FOSE Ley N°27516 (S/ 175,51)</b>			



Año 2016



Año 2016

**TOTAL RECIBO DE NOVIEMBRE-2016**


Deuda Anterior (1 Mes)

**Total a Pagar Incluye Aporte FOSE Ley N°27516 (S/ 175,51)**

HISTÓRICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS											
Meses 2 Últimos Meses Febr./2016						Meses 2 Últimos Meses Febr./2016					
Dic. 2015 a 492,70						Dic. 2015 a 492,70					
Med	Da	Da	Da	Da	Da	Med	Da	Da	Da	Da	Da
0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

**Emisión** 05/12/2016


**Vencimiento** 22/12/2016



**TOTAL** S/\*\*\*\*\*14,710.70

**Su AMT es : A2016 - C-246 de SE de Potencia : SECHNOR 10 KV**

OCHO MIL SETECIENTOS QUINCE Y 80/100 SOLES  
 El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de noviembre-2016. Corroboremos el monto según RS-057-99 SUNAT Cap. I Art. 4, literal 5.1.2.



**USUARIO CON CUEJA - Mz. 34 Lt. 04 - Centro La Victoria**

**Fecha Corte: 23/12/2016**

Si paga hasta la fecha de vencimiento e interés el corte, gestión y molestias innecesarias.

**Ensa** S.A. - EMPRESA NACIONAL DE SERVICIOS ELÉCTRICOS

**Noviembre-2016**

GRUPO COMERCIAL BARI S.A.

Código: 25598344

Medidor: CENTR LA VICTORIA Mz 34 LT. 0004

Ruta: 2946-10703-4067

Emisión: 05/12/2016

Vencimiento: 22/12/2016

Recibo N° 251-33297319

La Victoria/Chiclayo

**TOTAL A PAGAR S/ \*\*\*\*\*14,710.70**

