

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA ELECTRONICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA  
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON RESIDUOS SÓLIDOS DE LA  
LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR – PUNO, PERIODO 2018”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**LENIN OJEDA CASILLA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**  
**“ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA**  
**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON RESIDUOS SÓLIDOS DE LA**  
**LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR – PUNO, PERIODO 2018”**

TESIS PRESENTADA POR:

**LENIN OJEDA CASILLA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**



**PRESIDENTE**

:

M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

**PRIMER MIEMBRO**

:

M.Sc. ANGEL MARIO HURTADO CHAVEZ

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

M.Sc. JHIMMY ALBERTH QUISOCALA HERRERA

**DIRECTOR / ASESOR**

:

M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

**ÁREA** : Energías Renovables.

**TEMA** : Producción de Biogás.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN 22 DE NOVIEMBRE DEL 2019**

## DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado, haberme colmado de bendiciones mi vida y permitido llegar hasta este momento de mi vida, donde el fruto del sacrificio y la constancia que promueve su palabra a llegado a alentarme cada día de mi vida, para no quedarme caído en la lucha de un objetivo planteado en mi vida y aunque a veces ha sido duro el camino, Dios ha puesto a mis padres como ayuda para levantar y buscar en ellos un consejo y el apoyo necesario para permitirme seguir avanzando en mis objetivos.

A mis queridos padres: **Felipe Ojeda Bravo** y **Francisca Casilla Quispe** quienes han sido mi guía desde mis primeros pasos, y que me han enseñado mucho sobre la vida, me han alentado a superarme, luchar y no rendirme ante la adversidad muchas gracias padres por sus consejos.

A mis hermanos, tíos, primos y amigos que ha sido una gran ayuda en esos momentos difíciles de mi vida y que han servido como un gran apoyo para superarme.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido avanzar con mis estudios guiarme en mis pasos para poder alcanzar un objetivo más en mi vida, darme la salud, inteligencia y la vida para poder plasmar el desarrollo de este proyecto.

A mis padres, familiares y amigos que me brindaron todo su apoyo en esos momentos difíciles y supieron ayudarme.

Mi gratitud a la Universidad Nacional Del Altiplano, de forma muy especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por haberme abierto las puertas para formar parte de ella y desarrollarme como un profesional más de calidad académica y profesional.

Los Ingenieros: **José Manuel Ramos Cutipa y Alfredo Quispe Lujano**, con quien fue posible iniciar y concluir esta investigación, gracias a su valiosa colaboración.

Finalmente, mi agradecimiento a todas las personas que de alguna u otra forma han colaborado con sus ideas, comentarios y sabios consejos durante todo el transcurso de mi carrera y especialmente en el desarrollo de este trabajo.

**INDICE GENERAL**

INDICE DE FIGURAS .....	9
INDICE DE TABLAS .....	11
INDICE DE ACRONIMOS.....	12
RESUMEN .....	13
PALABRAS CLAVES .....	13
ABSTRACT.....	14
KEY WORDS .....	14

**CAPITULO I**

1.1. Introducción .....	15
1.2. Planteamiento del problema.....	17
1.2.1. Descripción del problema .....	17
1.2.2. Formulación del problema .....	18
1.2.2.1. Problema general .....	18
1.2.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3 Antecedentes de la investigación.....	19
1.3.1. A nivel internacional.....	19
1.3.2. A nivel nacional .....	21
1.3.3. A nivel local.....	23
1.4. Justificación de proyecto .....	24
1.4.1. Justificación teórica.....	25
1.4.2. Justificación practica .....	25

1.4.3.	Justificación económica.....	25
1.4.4.	Justificación académica .....	25
1.4.5.	Justificación social.....	26
1.4.6.	Justificación ambiental .....	26
1.5.	Objetivos de la investigación.....	26
1.5.1.	Objetivo general .....	26
1.5.2.	Objetivos específicos .....	26

## CAPITULO II

2.1.	Marco teórico .....	28
2.1.1.	Energía renovable .....	28
2.1.2.	Biorreactor .....	29
2.1.2.1.	Tipos de biorreactor .....	30
2.1.3.	Bioenergía y biocombustibles.....	32
2.1.4.	Biogás .....	33
2.1.5.	Temperatura del proceso.....	35
2.1.5.1.	Características del biogás.....	37
2.1.6.	Residuos solidos .....	38
2.1.7.	Laguna de oxidación.....	39
2.1.8.	Aspectos generales.....	40
2.1.8.1.	Biomasa .....	40
2.1.9.	Ph, presión, temperatura .....	42
2.1.9.1.	Ph .....	42
2.1.9.2.	Presión .....	43
2.1.9.3.	Temperatura .....	44
2.1.10.	Sistema de control del proceso de biogás .....	46

2.1.10.1. Variable controlada y variable manipulada .....	46
2.1.11. Hipotesis .....	49
2.1.11.1. Hipotesis general.....	49
2.1.11.2. Hipotesis específicos.....	49
<b>CAPITULO III</b>	
3.1. Materiales y método.....	50
3.1.1. Tipo de investigación .....	50
3.1.2. Ámbito de estudio .....	50
3.1.3. Antecedentes de operación .....	50
3.1.4. Características de ubicación.....	50
3.2. Muestra y poblacion.....	52
3.3. Procedimiento inicial del proceso .....	52
3.3.1. Información básica.....	52
3.4. Metodología .....	53
3.4.1. Muestreo .....	53
3.5. Matriz del diseño experimental.....	55
3.6. Equipos utilizados en el modulo .....	58
3.6.1. Sensor de gas metano arduino mq4 .....	58
3.6.2. Modulo de expansion 4 entradas analogicas (rtd, termopar) schneider electric .....	59
3.6.3. Sensor de presión analógico .....	60
3.6.4. Sensor de temperatura pt-100 .....	61
3.6.5. Controlador logico programable (plc) zelio.....	61
3.6.6. Variador de frecuencia.....	62
3.6.7. Electrobomba centrifuga trifásico.....	63
3.6.8. Sistema de mando y señalizacion pulsadores selectores.....	64

**CAPITULO IV**

4.1. Resultados y discusión.....	65
4.1.1. Resultados .....	65
4.1.1.1 Dimensionamiento del biorreactor.....	65
4.1.1.2. Selección de materiales incorporados al biorreactor .....	68
4.1.1.3. Análisis estadístico de la producción de biogas.....	75
4.1.1.4. Valor óptimo de la producción del metano.....	78
4.1.1.5. Volumen de gas metano generado matematicamente.....	79
4.1.2. Discusión .....	83



## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estructura de un biorreactor .....	29
Figura 2.2. Suministro total mundial de energía primaria en los años 1073 y 2012.	32
Figura 2.3. Molécula del metano .....	35
Figura 2.4. Producción de biogás en función de la temperatura .....	37
Figura 2.5. Clasificación de los residuos solidos .....	39
Figura 2.6. Formas de conversión de biomasa.....	41
Figura 2.7. Caracterización del PH .....	43
Figura 2.8. Presión Superficial.....	44
Figura 2.9. Termómetro en escala de Fahrenheit y Grados Celsius .....	45
Figura 2.10. Modelo de procesos .....	46
Figura 2.11. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	47
Figura 2.12. Sistema de Control Abierto .....	47
Figura 2.13. Sistema de Control de Lazo Cerrado .....	48
Figura 2.14. Sistema de control de lazo cerrado .....	48
Figura 3.1. Vista de la laguna Espinar por Google Eath.....	51
Figura 3.2. Llenado de los residuos sólidos al biorreactor.....	54
Figura 3.3. Sensor de gas metano arduino .....	59
Figura 3.4. Módulo de expansión 4 entradas analógicas .....	60
Figura 3.5. Sensor de presión analógico .....	60
Figura 3.6. Sonda de temperatura PT-100 .....	61
Figura 3.7. Controlador lógico programable, medición TM241 .....	62
Figura 3.8. Variador de frecuencia.....	63
Figura 3.9. Electrobomba centrifuga trifásica.....	63
Figura 3.10. Sistema de mando y pulsadores.....	64
Figura 4.1. muestra realizada con 9 kg. ....	65
Figura 4.2. Tubería de Cu de forma espiral .....	68
Figura 4.3. Sonda de temperatura PT-100 .....	69
Figura 4.4. Sensor de presión analógico .....	70
Figura 4.5. Sensor de gas metano .....	71
Figura 4.6. controlador lógico programable, medición TM241.....	72

Figura 4.7. Variador de frecuencia.....	73
Figura 4.8. Electrobomba centrifuga trifásica.....	74
Figura 4.9. Sistema de mando, señalización pulsadores y todo el control .....	75
Figura 4.10. Diagrama de Pareto Estandarizada para volumen de biogás .....	76
Figura 4.11. Gráfico de probabilidad normal del volumen.....	77
Figura 4.12. Superficie de Respuesta Estimada.....	78

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1: Composición del biogás.....	34
Tabla 2.2: Rangos de temperatura y tiempo de la digestión anaeróbica.....	36
Tabla 2.3: Principales grupos de biomasa y su sub clasificación. ....	42
Tabla 3.1: Equipos utilizados en el proceso de investigación. ....	52
Tabla 3.2: Numero de muestras, coordenadas (UTM) y profundidad (m) de las muestras..	54
Tabla 3.4: Matriz de diseño experimental $2^3=8$ . ....	58
Tabla 4.1: Análisis de Varianza para volumen del biogás.....	76
Tabla 4.2: Constituyente orgánico lentamente descomponible a nivel de planta piloto.....	79

**INDICE DE ACRONIMOS**

**PSI** : Unidades de presión de sistema anglosajon.

**VED** : Variador de frecuencia.

**PLC** : Controlador Lógico programable.

**$\pi$**  : Valor de Pi.

**R** : Radio del cilindro.

**H** : Altura que alcanza el estiércol en el cilindro.

**GLP** : Gas licuado de petróleo.

**$\rho$**  : Densidad del metano.

**P** : Presión para el metano.

**M** : Peso molecular del metano.

**R** : Constante universal de los gases.

**T** : Temperatura del metano.

**CH<sub>4</sub>** : Gas metano.

**CO<sub>2</sub>** : Dióxido de carbono

**N** : Nitrógeno

**O** : Oxigeno

**H** : Hidrogeno

**S** : Azufre

## RESUMEN

El problema de las aguas residuales y los residuos sólidos en la laguna de Oxidación Espinar – Puno, tiene un efecto directo sobre el desarrollo de la Ciudad. La falta de una gestión de manejo adecuado de los residuos sólidos conlleva a proliferación de infecciones, riesgos de salud Ambiental y además contribuir a la descontaminación medio ambiental, frente a ello se planteó como objetivo: Evaluación del biogás a partir de ello obtener biogás con los residuos sólidos de la laguna de Oxidación Espinar Puno, periodo 2018, se utilizó la metodología de investigación aplicada y experimental, teniendo como parámetros prioritarios: temperatura, presión, volumen, teniendo presente la construcción del componente mecánico, las dimensiones del biorreactor. Y como resultado del estudio se obtuvo el volumen del biorreactor de 40.79 L, cuya carga de lodos fue de 9 kg con una presión de 14.76 PSI ejercida por el reactor, se determinó la densidad del metano que fue 0.6280 g/L y el volumen de gas metano generado  $\text{CH}_4$  fue 3.33 L, se utilizó un intercambiador de calor con lecho en forma de serpentín para mantener la temperatura de 35 °C, manteniendo un proceso de fermentación óptima, el cual se implementó con sensores de medición, temperatura, presión, sensor de gases  $\text{CH}_4$ . Todo esto fue monitoreado en tiempo real con un controlador lógico programable (PLC). En conclusión, con el prototipo desarrollado en el laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica, se planteará un estudio para la construcción de una planta de tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Puno, con un sistema automatizado para la producción de biogás a gran escala.

**Palabras claves:** Producción, biogás, biomasa, laguna de oxidación y energías Renovables.

## ABSTRACT

The problem of wastewater and solid waste in the Espinar - Puno Oxidation Lagoon has a direct effect on the development of the City. The lack of proper management of solid waste management leads to the proliferation of infections, environmental health risks and also contribute to environmental decontamination, as opposed to this, the objective was: Evaluation of biogas from this, obtaining biogas with Solid waste from the Espinar Puno Oxidation Lagoon, period 2018, the methodology of applied and experimental research was used, having as priority parameters: temperature, pressure, volume, taking into account the construction of the mechanical component, the dimensions of the bioreactor. And as a result of the study, the bioreactor volume of 40.79 L was obtained, whose sludge load was 9 kg with a pressure of 14.76 PSI exerted by the reactor, the density of methane was determined to be 0.6280 g / L and the volume of Methane gas generated CH<sub>4</sub> was 3.33 L, a heat exchanger with a coil-shaped bed was used to maintain the temperature of 35 °C, maintaining an optimal fermentation process, which was implemented with measurement sensors, temperature, pressure, sensor CH<sub>4</sub> gases. All this was monitored in real time with a programmable logic controller (PLC). In conclusion, with the prototype developed in the Electrical Mechanical Engineering laboratory, a study will be proposed for the construction of a solid waste treatment plant in the city of Puno, with an automated system for the production of large-scale biogas.

**Key words:** Production, biogas, biomass, oxidation lagoon and energies Renewable

## CAPITULO I

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Sin lugar a duda las energías renovables constituirían la mayor parte de la energía del futuro en el planeta y en nuestro país. El problema global de la contaminación ambiental ha pasado a ocupar hoy, uno de los temas de mayor importancia, también en los últimos años ha crecido a nivel Nacional y mundial el interés en las fuentes renovables de energía y por la desaparición a mediano plazo de los combustibles fósiles (no renovables) ha obligado a los gobiernos e instituciones a buscar nuevas fuentes de energía, que sirvan como sustitutos de los no renovables. El interés por la conservación del medio ambiente y reducir la contaminación del lago Titicaca y la generación de fuentes de energía alternativas a partir de los residuos sólidos, ha llevado a aplicar el conocimiento del proceso de la descomposición y lixiviación de los residuos sólidos orgánicos; lo cual conllevan a la generación de biogás.

La presente investigación se ha realizado con el principal objetivo de producir biogás a partir de los residuos sólidos de la laguna de oxidación Espinar – Puno y un control que permite registrar y controlar los parametros de prueba, para optimizar la producción de biogás, para un aprovechamiento energético óptimo de los residuos sólidos orgánicos y a la vez contribuirá en la descontaminación ambiental del lago Titicaca por emisión de gases despididos por los residuos orgánicos expuestos al medio ambiente.

La presente investigación busca analizar alternativas de solución para la producción de biogás con residuos sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno Periodo 2018, con la ayuda de un módulo el cual permitirá discretizar los resultados de las pruebas realizadas y así determinar un óptimo resultado para la mezcla de residuos sólidos orgánicos.

La ventaja del módulo, es para la óptima producción de biogás y funciona en diferentes condiciones ambientales y diferentes tipos y/o combinaciones de residuos sólidos orgánicos.

El desarrollo de esta investigación se ha dividido en las siguientes partes.

- En la primera parte se enfocará en el planteo del problema, formulación del problema, antecedentes de la investigación y la justificación del proyecto.
- La segunda parte abarca la revisión de literatura, aspectos teóricos y concretos de los estudios y tipo de biorreactor desarrollado y el aprovechamiento energético de la biomasa.
- En la tercera parte la razón de esta investigación contempla el uso adecuado de los residuos sólidos orgánicos para el aprovechamiento energético y contribuir a la descontaminación ambiental, el dimensionamiento del módulo para la construcción del mismo.
- En la cuarta parte presentaremos los resultados del análisis de los datos obtenidos en nuestra experimentación, donde dichos resultados mostraran la mejora general que se obtuvo en el nuevo dimensionamiento del biorreactor.

Se realiza el desarrollo de la instalación en forma práctica donde se han tomado los datos reales.

Por último, se explica los resultados finales del proyecto de investigación, las conclusiones y recomendaciones del proyecto de investigación respecto a los datos conseguidos.



## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día la necesidad de la conservación del medio ambiente y el interés por nuevas fuentes renovables de energía ha crecido a nivel mundial el 20% según Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (2011), en efecto se desarrollan y aplican tecnologías para el procesamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos, que alivia en cierta medida el impacto medio ambiental negativo y permitirá la generación de energía alternativa renovable.

Los procesos de descomposición de los residuos favorecen la emisión de productos contaminantes que pueden ser un riesgo potencial al ambiente y a la salud, entre los que se encuentran los lixiviados y el biogás, mismos que requieren de un manejo adecuado.

Por tanto, el Perú no puede ser ajeno al desarrollo y difusión de estas tecnologías, por cual es necesario realizar más investigaciones que involucren el proceso adecuado de residuos orgánicos, por la relevancia de la geografía y demografía territorial y los variados climas locales, en especial las zonas alto Andinas.

Por este motivo es necesario el manejo adecuado a los residuos sólidos para la producción del biogás. Bajo este marco se pretende la disminución de la contaminación atmosférica, así como la producción de energía a partir del biogás, mejorando así la calidad de vida de la población.

Uno de los problemas que se tiene en los países y más aún en las zonas Alto Andinas es la ausencia de programas de reciclamiento de residuos sólidos orgánicos y falta de conocimientos del potencial energético y fertilizante que poseen estos. Además, se tiene el problema de variabilidad de la temperatura.

Por esta razón se plantea la siguiente investigación, análisis y alternativas de solución para la producción de biogás con residuos sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno, Periodo 2018, además el módulo permitirá controlar y medir los parámetros (presión, temperatura y nivel de producción de gas metano), también se podrá determinar el poder calorífico del biogás.

Las pruebas realizadas en el módulo permitirán la construcción y el adecuado dimensionamiento del biorreactor a diferentes condiciones ambientales como: para la laguna de Oxidación Espinar Puno y otros, que permita optimizar la producción de biogás, además de controlar la contaminación medioambiental por emisión de gases despididos por los desechos orgánicos expuestos en el medio ambiente, con este objetivo se plantea el presente proyecto de investigación.

## **1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Es posible la obtención de biogás a partir de los Residuos Sólidos de la Laguna de Oxidación Espinar – Puno, Periodo 2018?

### **1.2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ❖ ¿Será factible dimensionar un módulo que permita la obtención de Biogás a partir de los Residuos Sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno, Periodo 2018?
- ❖ ¿Es viable determinar la obtención del biogás a partir de los residuos sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno, en un determinado periodo y Es dable proponer como una alternativa energética y ecológica para la producción de biogás?

### **1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. A NIVEL INTERNACIONAL**

Según Tello & Martínez (2011) afirma que el informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. Planes nacionales de gestión de residuos sólidos: Argentina (2005), Chile (2005), Costa Rica (2007), México (2008), El Salvador (2010), Perú (2010). Concluye que: La información obtenida en la Evaluación de Residuos 2010 y los avances identificados permiten suponer que una cantidad creciente de gobiernos de América Latina y el Caribe está tomando conciencia sobre los impactos negativos que una mala gestión de los residuos sólidos tiene sobre su población y el medio ambiente. Los avances registrados durante estos últimos ocho años en cuanto a políticas, normativa y cobertura de los servicios nos dirigen a esa línea de pensamiento. Sin embargo, el camino hacia una gestión adecuada de los residuos sólidos recién se ha iniciado, varias líneas de acción deben profundizarse para lograr el objetivo en común de desarrollo sostenible del sector en nuestros países. En un sector bien estructurado, la interacción entre los agentes involucrados del sector y el medio debe desenvolverse en una forma económica, ambiental y socialmente sostenible. En este sentido, es alentador que los gobiernos hayan comenzado a instalar en sus agendas temáticas como el rol de las entidades nacionales, regionales y municipales en la planificación y regulación de los servicios, la minimización y el reciclado de los residuos, la necesidad de integración al sistema formal de los trabajadores informales de la basura, la adecuada disposición final de residuos y la relación entre el sector y el proceso de cambio climático.

Según Arce, (2011) afirma que el diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos del animal aplicable en las zonas agrarias del litoral.

Tesis previa a la obtención del título de ingeniero industrial, Guayaquil – Ecuador, 2011. Concluye que: Es efectiva la producción de biogás mediante la utilización de estiércol de vaca, por los resultados obtenidos durante todas las pruebas realizadas en el digestor, se puede decir que es rentable y aplicable. Los biodigestores son más eficaces cuando la producción de desechos orgánicos es constante durante todo el año, se encuentra en la Zona occidental, en las llanuras de los Andes a más de 200 msnm.

Según Bolivar & Ramirez (2012) asegura que la Propuesta para el diseño de un Biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá. Proyecto de grado para optar el título de ingeniero de producción, Bogotá, 2012. Concluye que: Es posible la construcción de digestores a baja, mediana y gran escala para el tratamiento de residuos orgánicos, ya que tecnológicamente la construcción no es un proceso complejo porque la eficiencia en la generación del efluente depende directamente de la interacción de los factores que afectan la digestión anaerobia y no de los sistemas de control o de automatización, está situada en la sabana del mismo nombre, sobre el altiplano cundiboyacense de la cordillera Oriental de los Andes, a una altitud de 2.650 y en sus puntos más altos hasta 4.050 msnm.

Según Perez (2010) asegura que el Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Proyecto de grado para optar el título de ingeniero Civil Mecánico, Santiago Chile, 2010. Concluye que: Se puede generar un equipo técnica y económicamente viable para solventar las necesidades energéticas de los pequeños ganaderos y lecheros. Existe un criterio de fácil verificación que permite decidir la viabilidad del proyecto y con la ayuda de índices generales entrega el tiempo de recuperación de la inversión. La construcción de un estanque cilíndrico horizontal no es la única alternativa o

configuración útil para el diseño del estanque biodigestor y se debe estudiar la configuración vertical mostrada en los antecedentes correspondiente a biodigestores tipo instalación industrial. Está ubicada a 520 msnm.

Según Fuentes (2011) afirma que el diseño y aplicación de biodigestores. Proyecto de grado para optar el título de ingeniero industrial, Buenos aires Argentina, 2011. Concluye que: La biodigestión anaeróbica resulta una alternativa económicamente viable a la hora de buscar el doble propósito de contar con un sistema de tratamiento de residuos y un establecimiento capaz de proveer energías alternativas, independientemente del uso de la misma. A su vez, se obtiene el beneficio adicional de un efluente que tiene una capacidad fertilizante mayor a la del estiércol de animal sin tratar. La biodigestión anaeróbica en la industria ganadera debe tratarse como un proceso industrial en donde el análisis previo de las variables implicadas durante la etapa de diseño puede optimizar la producción de gas metano. En este sentido, resulta fundamental hacer un estudio apropiado del ganado para el cual se está diseñando el biodigestor. Particularmente, es menester dimensionar el ganado en términos de volumen de excremento y calidad del mismo, de manera tal de aprovechar al máximo la homogeneidad del efluente de excremento. Como investigación futura, se recomienda hacer un estudio exhaustivo en Argentina de manera tal de poder crear una matriz de generación de metano en función de la ubicación, suelos y animales intervinientes en el proceso de biodigestión. Está ubicado a 25 msnm.

### **1.3.2. A NIVEL NACIONAL**

Según Arrieta (2016) asegura que el diseño de un biodigestor domestico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico – Eléctrico, Piura, 2016. Llega a la siguiente conclusión: La aplicación de la

digestión anaeróbica en Biodigestores domésticos es una Fuente de energía renovable (biogás), la cual puede reemplazar a combustibles fósiles como el gas natural o el GLP. Además, permite obtener un fertilizante orgánico de calidad (Biol) y evita la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición incontrolada de la materia orgánica, lo que cobra mayor importancia en la actualidad debido a los efectos que está causando el calentamiento global, está situada a 29 msnm.

Según Reyes (2017) afirma que la generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. Lima, 2017. Llega a la siguiente conclusión: El biogás es un recurso energético que constituye una opción hacia la transición energética, ya que puede ser empleado como combustible para generar electricidad, calor y/o energía mecánica a partir de una fuente renovable como lo son los cultivos energéticos, o bien a través de residuos agropecuarios, agroindustriales y municipales, entre otros. Por otra parte, desempeña un papel importante en la mitigación de gases de efecto invernadero. El proyecto se realiza a una altitud de 161 msnm.

Según Ramos (2006) asegura que el mecanismo de desarrollo limpio estudio de biodigestores, Lima, 2006. Llega a la siguiente conclusión: La viabilidad de los proyectos peruanos de reducción de emisiones de GEI frente a la inversión inicial, exige que estos tengan menores costos de Inversión y uso apropiado de la tecnología. La sustitución de combustibles está siendo impulsada en estos tiempos; prueba de esto es el encontrar a siete empresas peruanas que utilizan Bagazo como combustible base, para el funcionamiento de sus calderos. Los costos que involucran el desarrollo y ejecución de proyectos MDL son altos, por ello los proyectistas que ingresen a este mercado tendrán, que estar bien preparados para enfrentar los estándares internacionales de acreditación. La utilización de biodigestores

ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando su valor fertilizante y controlando, de manera considerable, los malos olores.

Según Cruz (2017) afirma que el diseño de un biorreactor para generar biogás a partir de desechos orgánicos de animales en la irrigación de majes – caylloma, Arequipa, 2017. Llega a la siguiente conclusión: De los datos obtenidos se puede obtener biogás en el rango psicrófilico y mesofítico (10 – 40°C). La producción de biogás está en función del tiempo de retención. Por tal razón mayor TR mayor será la producción del gas. Para mantener la producción de biogás constante, el proceso de carga debe ser diaria con un control adecuado en la temperatura. El presente proyecto satisface los siguientes requerimientos: bajo de fabricación de construcción, mantenimiento, operación y eficiencia.

### **1.3.3. A NIVEL LOCAL**

Según Huanca (2017) afirma que la Producción de biogás a partir de los lodos de aguas residuales urbanas – puno. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico, puno, 2017. Llega a la siguiente conclusión: Los parámetros evaluados durante la producción de biogás son los siguientes: Tiempo de obtención 43 días, a una temperatura promedio de 27.4 °C con una presión 0.2144 kg/cm<sup>2</sup> Durante la producción de biogás con una DBO<sub>5</sub> 319.90ppm, se han evaluado los parámetros físico químicos encontrándose que el pH promedio optimo fue de 8.08, conductividad promedio de 1909.25 μs/cm, Oxígeno disuelto promedio 5.50 ppm, Solidos totales 1200.25 ppm y una turbiedad promedio de 110.45 NTU.

Según Tapara (2014) asegura que la obtención de biocombustible gaseoso y solido a partir de plantas acuáticas y lodos sedimentados de la bahía interna puno – lago Titicaca.

Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico, puno, 2014. Llega a la siguiente conclusión: Se realizó una caracterización fisicoquímico de los materiales experimentales obteniendo resultados con coeficiente de variación menor al 5% , donde se observa que el pH varía en un rango de 5,37 a 7, 8 siendo los valores de pH más bajos en las plantas y los más altos en los lodos; los sólidos totales y volátiles varían en un rango de 6 a 95 %, teniendo las plantas acuáticas los más altos valores y los lodos los más bajos valores; en relación a la materia orgánica total, los que tienen los más altos valores, son la lemna y la totora (74 a 89 %), mientras que los lodos varían en un rango de 13 a 21 %. Para encontrar la relación de C/N optimo que es de 30 fue desarrollado por medio de una relación matemática en base a sólidos totales, sólidos volátiles y de nitrógeno, ya que proporcionan una información más exacta. El volumen de gas metano en el biocombustible gaseoso generados por la codigestión anaerobia de lodos sedimentados y plantas acuáticas (*Schenoplectus totora* y *lemna gibba*) a nivel de laboratorio fue de 0,052 3 m con una concentración promedio de 75,77 % y a nivel de planta piloto se generó un volumen de 17,39 3 m con una concentración promedio de 71.03%. El poder calorífico del biocombustible solido producidos por la codigestión anaerobia de lodos sedimentados y plantas acuáticas (*Schenoplectus totora* y *lemna gibba*) de la bahía Interna de Puno – Lago Titicaca es 3 596,7 kcal/kg.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE PROYECTO**

En la mayoría de las ciudades de nuestro País y específicamente en la Región de Puno, se soporta la contaminación que ocasiona el almacenamiento de residuos sólidos de la Laguna de Oxidación Espinas – Puno; el mismo que genera diversas problemáticas en la población. Tal es el caso de la contaminación del Lago Titicaca que está siendo contaminado en mayor magnitud, por la laguna de oxidación de la ciudad de Puno.



La necesidad de hacer este estudio se basa en ofrecer una alternativa de solución que aproveche la biomasa generado durante años en la laguna de oxidación, el cual sea materia para la producción del Biogás mediante un Biorreactor con el cual se obtendrá Gas Metano para el consumo doméstico, de tal manera evitar problemas ambientales y sociales.

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Esta investigación presenta teorías, conceptos e investigaciones de diferentes autores de ingeniería, las mismas han sido aceptadas en el mundo de la ciencia y la tecnología, lo que es una base teórica para ser utilizada en energías renovables en el mundo moderno.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRACTICA**

Con la presente investigación, la producción de Biogás a partir de los residuos sólidos generados en la laguna de oxidación Espinar - Puno, Periodo 2018. Para disminuir el consumo de Gas (GLP) porque es costoso, permitirá alcanzar grandes mejoras en la utilización de los desechos orgánicos, estableciendo un apoyo al cumplimiento necesario del compromiso con el medio ambiente.

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

En el presente trabajo de investigación, se logrará la obtención de Biogás, que permitirá la disminución del consumo del GLP en las familias porque son costosos y también contribuirá al cuidado su ahorro económico y preservación del Lago Titicaca y el medio ambiente en general.

#### **1.4.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA**

El presente proyecto de investigación, pretende dar un mayor realce a esta forma de obtención de biogás, además mejorar el aprendizaje sobre el beneficio del desarrollo de

fuentes nuevas de energías renovables, a partir de residuos sólidos, posibilitará fomentar nuevos estudios que contribuyan a la búsqueda de información que se hará en la región de Puno.

#### **1.4.5. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

La reducción de malos olores, disminución de los problemas medioambientales y mejora de los niveles de salubridad, de la población que habitan en las zonas rurales y urbanas de la ciudad de Puno, como también beneficiar a los pobladores que viven en las proximidades a la Bahía del Lago Titicaca.

#### **1.4.6. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL**

El presente proyecto tiene su justificación ambiental, desde el punto que beneficiara a la población con la descontaminación ambiental producido por la acumulación de residuos sólidos, que en es una materia orgánica putrefactable, se dará una solución ambiental al problema de la contaminación generada por los residuos sólidos, los cuales son generadores de malos olores y producción de gases como H<sub>2</sub>S en los lugares en donde se acumulan.

### **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluación del biogás a partir de los residuos sólidos de la laguna de Oxidación Espinar - Puno, Periodo 2018.

#### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Dimensionar un módulo que permita la obtención de biogás a partir de los Residuos Sólidos de la Laguna de Oxidación Espinar - Puno, Periodo 2018.

- ❖ Determinar la obtención del biogás a partir de los Residuos Sólidos de la laguna de Oxidación Espinar - Puno, Periodo 2018 y Proponer como una alternativa de solución energética y ecológica de la obtención del biogás

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. ENERGÍA RENOVABLE

Las energías renovables son la alternativa más limpia para el medio ambiente. Se encuentran en la naturaleza en una cantidad ilimitada y una vez consumidas, se pueden regenerar de manera natural o artificial.

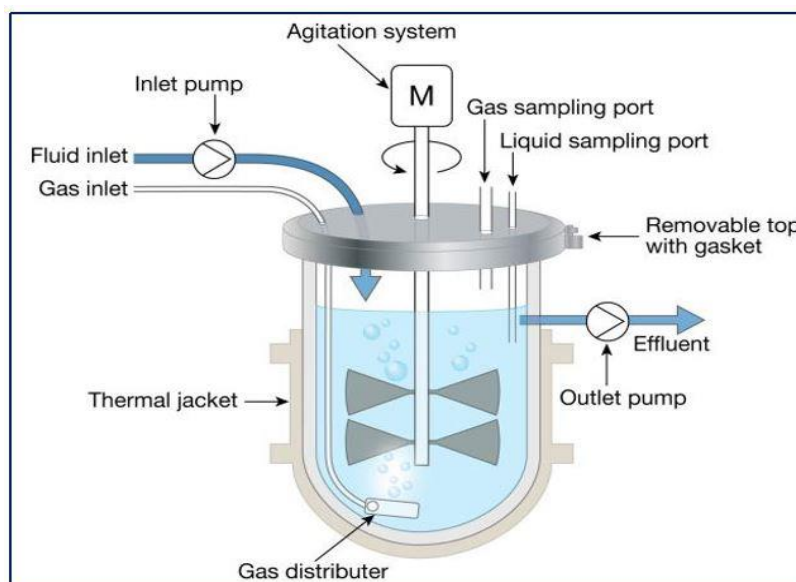
Las fuentes de energía renovable están en todo nuestro alrededor: agua, viento, sol, biomasa, cada día más personas las utilizan como parte de su vida diaria. Las utilizamos para calentar nuestros hogares en épocas frías, para operar nuestros electrodomésticos, ducharnos con agua caliente, irrigar campos con agua para agricultura, etc. Hay amplio espacio para formarse y crecer como profesionales en carreras en torno a las energías renovables.

Las fuentes renovables de energía se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta. Son aquellas que se regeneran y son tan abundantes que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no; además, usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente. La electricidad, calefacción o refrigeración generadas por las fuentes de energías renovables, consisten en el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el viento, los residuos agrícolas u orgánicos. Incrementar la participación de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub>. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden Ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales.

### 2.1.2. BIORREACTOR

Según Gomez & Espinosa (2018) afirma que el biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aerobio o anaerobio. Estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable. Un biorreactor puede ser también un dispositivo o sistema empleado para hacer crecer células o tejidos en operaciones de cultivo celular. Estos dispositivos se encuentran en desarrollo para su uso en ingeniería de tejidos. En términos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etcétera) al organismo o sustancia química que se cultiva.

Figura 2.1. Estructura de un biorreactor



*Fuente: Gomez Perez & Espinosa Oviendo, 2018*

### 2.1.2.1. TIPOS DE BIORREACTOR

Un biorreactor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos, Lagrange (1979). El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo. Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como, por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento. La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo.

**A. Características del biorreactor.** Para que un biorreactor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- a) Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la Digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- b) Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- c) Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- d) Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- e) Tener acceso para el mantenimiento.

f) Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

**B. Tipos de biorreactores.** Los biorreactores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

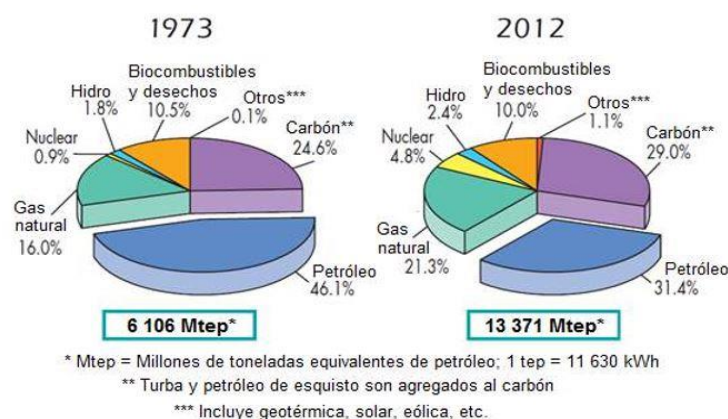
- ✓ **Continuos:** Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.
- ✓ **Semi Continuos:** Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de MANUAL DE BIOGÁS 98 materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y chino.

- ✓ **Discontinuos o Régimen Estacionario:** Los biorreactores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

### 2.1.3. BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES

Según la Agencia Internacional de la Energía IEA por sus siglas en inglés (2014) afirma que las primeras civilizaciones, el ser humano ha usado la biomasa como fuente de alimentación, materiales de construcción, fibras y energía. De esta manera se convirtió en la fuente de energía más importante y en la base de la producción industrial. Sin embargo, con el uso masivo de combustibles fósiles su aprovechamiento, como principal fuente energética mundial, fue disminuyendo progresivamente. Tal situación se representa en la figura donde se puede apreciar que el petróleo es la principal fuente de energía primaria a nivel mundial con casi la tercera parte del total, y triplicando el aporte de la biomasa en el año 2012.

Figura 2.2. Suministro total mundial de energía primaria en los años 1973 y 2012



Fuente: Agencia Internacional de la Energía 2014.



A pesar del panorama descrito anteriormente, en los últimos años la utilización de la biomasa como una alternativa a los combustibles fósiles está tomando cada vez mayor importancia. Así, por ejemplo, Vassilev (2012) afirman que para el año 2050 se estima que entre el 33 y 50% del consumo de energía primaria mundial podría provenir de la biomasa. Los principales factores de este cambio son:

- Problemas ambientales cada vez más severos relacionados con el calentamiento global, originado principalmente por el uso de combustibles fósiles.
- La creciente demanda de energía a nivel mundial requerirá grandes cantidades de petróleo que no se pueden compensar con el declive en la producción en los yacimientos y en las reservas existentes, lo que también genera inestabilidades en su precio.

#### **2.1.4. BIOGÁS**

Según Tapia (2005) define al biogás como: El biogás es un poderoso bioenergético que se obtiene a base de desechos orgánicos. Cuenta con numerosos beneficios y es una forma de energía limpia y renovable. A continuación, los invito a conocer sus características y potencial. El biogás es un gas combustible que se origina de la degradación o digestión anaeróbica y se compone principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de otros gases como el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). El porcentaje (en volumen) de metano contenido en el biogás puede variar desde mínimo de 55% o 60% hasta un máximo de alrededor 80%, por lo que su poder calorífico inferior, dependiente de la cantidad de metano, puede variar de 4700 a 5500 kcal /m<sup>3</sup> o de 5 a 7 kWh/m<sup>3</sup> Moncayo Romero (2013). Este rango varía en la literatura técnica, algunos autores por ejemplo consideran el biogás con un contenido de metano entre 50% y 70% (Instituto para la

Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Ministerio de industria, turismo y comercio. Gobierno de España., 2007). De esta manera, si se considera un biogás con un contenido estándar de 50% en metano, su poder calorífico será de 21 MJ/Nm<sup>3</sup>, su densidad de 1.22 kg/Nm<sup>3</sup> y tendrá una masa similar a la del aire (1.29 kg/Nm<sup>3</sup>) (Seadi (2008)). Se debe tener en cuenta que el biogás es generado por un proceso biológico natural, por lo tanto, su composición depende en gran medida de factores como: el tipo de materia prima utilizada, el sistema de digestión anaeróbica y además de parámetros operacionales como: la temperatura, los cuales son tratados con mayor detalle en la sección en la figura. Es interesante notar que son pocos los autores que especifican las condiciones (estándar o normales) bajo las cuales se expresan el volumen del biogás, u otras características como su poder calorífico. En la tabla se muestra la composición media del biogás, así como el poder calorífico de sus componentes, a la temperatura y presión indicadas. Nótese que aparte del metano, los otros componentes prácticamente no tienen ningún aporte energético al biogás debido a su presencia casi nula en el mismo (<1%) y a su bajo poder calorífico.

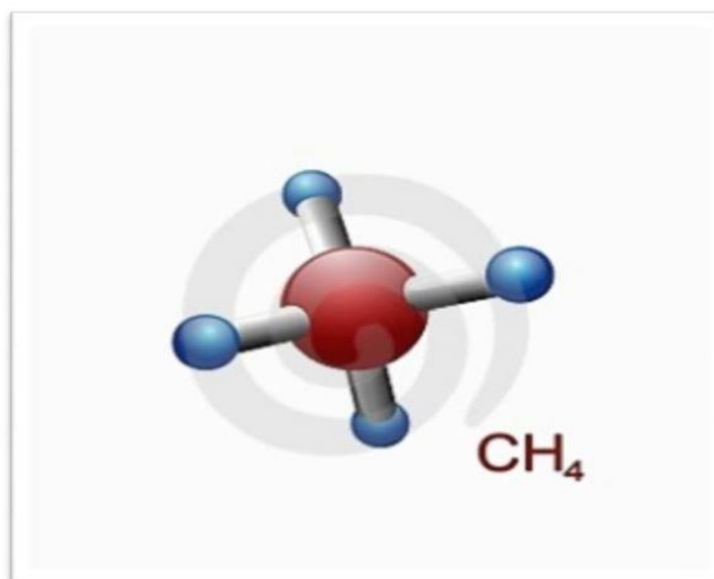
*Tabla 2.1: Composición del biogás*

<b>Composición media del biogás y poder calorífico inferior de sus componentes (15.55 °C y 1 atm)</b>		
<b>CH<sub>4</sub></b>	60 – 80%	8 145 kcal/m <sup>3</sup>
<b>CO<sub>2</sub></b>	20 – 40%	-
<b>H<sub>2</sub></b>	1 – 3%	2 441 kcal/m <sup>3</sup>
<b>O<sub>2</sub></b>	0.1 – 1%	-
<b>CO</b>	0 – 0.1%	2 868 kcal/m <sup>3</sup>
<b>N<sub>2</sub></b>	0.5 – 3%	-
<b>SH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub></b>	0.5 – 1%	5 552 kcal/m <sup>3</sup>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Variable	-

*Fuente: Sebastián N., Fernando; Royo H., Javier. Fundación CIRCE, 2002*

Como en cualquier otro gas, algunas de las propiedades características del biogás dependen de la presión y la temperatura. También son afectados por el contenido de humedad.

Figura 2.3. Molécula del metano



*Fuente: Heriberto Antnio et al., 2018*

### 2.1.5. TEMPERATURA DEL PROCESO

Tapia (2005) define que la temperatura es uno de los principales factores que afectan el proceso de digestión anaeróbica. Por consiguiente, se considera uno de los parámetros que se debe poner mayor atención al momento de diseñar plantas de biogás. El nivel o velocidad de las reacciones químicas y biológicas, normalmente, aumenta con el incremento de la temperatura, siempre que los microorganismos que intervienen toleren este aumento. Los procesos anaeróbicos, al igual que otros sistemas biológicos, también dependen fuertemente de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, la velocidad de crecimiento de los

microorganismos se incrementa y se acelera el proceso de digestión y de producción de biogás. Es por esto que, al momento de diseñar una planta de biogás y para poder seleccionar los rangos de temperaturas de operación aceptables, se recomienda contar con las temperaturas medias de la región en la que se va a desarrollar este tipo de proyectos.

Existen tres rangos de temperatura (los límites de estos rangos varían para algunos autores)

- el psicofílico: por debajo de 25°C
- el mesofílico: de 25 a 45°C
- el termofílico: por encima de 45°C

Dentro de cada rango de temperatura, existen valores recomendados u óptimos de operación, tal como se muestra en la tabla, donde además se muestran los rangos típicos para los tiempos de digestión o fermentación.

*Tabla 2.2: Rangos de temperatura y tiempo de la digestión anaeróbica.*

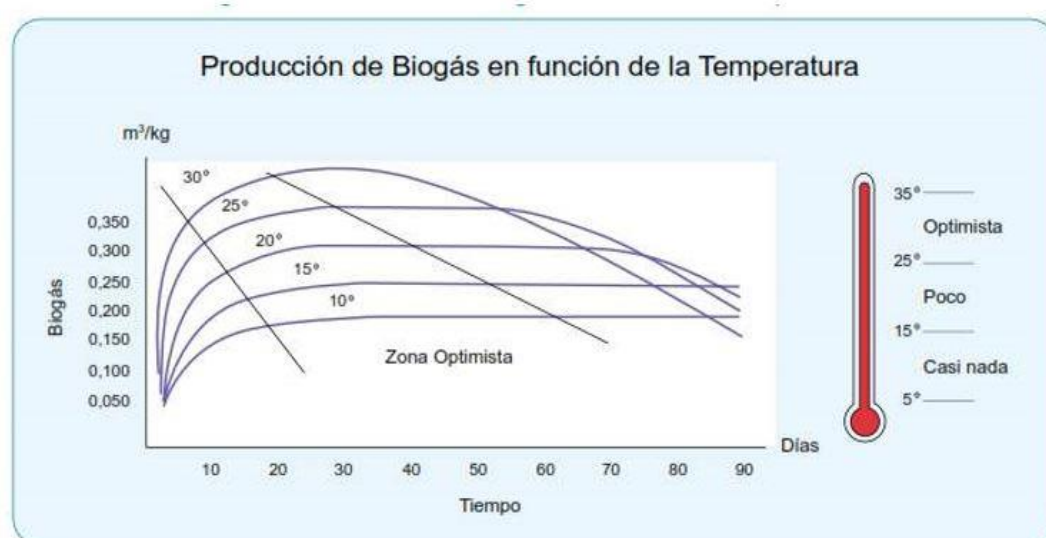
<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
<b>Psicrofílica</b>	4 - 10 °C	15 - 18 °C	20 - 25 °C	Sobre 100 días
<b>Mesofílica</b>	15 - 20 °C	25 - 35 °C	35 - 45 °C	30 - 60 días
<b>Termofílica</b>	25 - 45 °C	50 - 60 °C	75 - 80 °C	10 - 15 días

*Fuente: gobierno de chile, ministerio de energía; programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD); organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO); global environment facility (GEF),2011.*

Según Angelidaki & Ellegaard (2003). Afirma que el rango de operación mesofílico es el más difundido, aunque el termofílico está ganando una posición dominante en la actualidad. En primer lugar, las ventajas del rango termofílico están relacionadas con el

incremento en la tasa de producción del biogás, debido al incremento en la actividad biológica con el aumento de la temperatura. Como regla general, se dice que la actividad biológica se duplica cada vez que la temperatura se incrementa cada 10 °C dentro del rango de temperatura óptima, tal como lo muestra la figura.

Figura 2.4. Producción de biogás en función de la temperatura



Fuente: Heriberto Antnio et al., 2018

### 2.1.5.1. CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

Según Mongollon (2009). Asegura que el biogás se obtiene a partir de la digestión anaeróbica de los materiales orgánicos. Este bioenergético es una mezcla de dióxido de carbono y metano. Es utilizado como combustible, presenta un valor calorífico de 23 MJ/kg y posee un potencial de calentamiento 25 veces mayor al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este tipo de energía renovable puede sustituir a los combustibles fósiles y con él se puede cocinar, calentar y generar electricidad. Al igual que el gas natural, el biogás permite generar electricidad a partir de motores de combustión interna conectados a un generador.

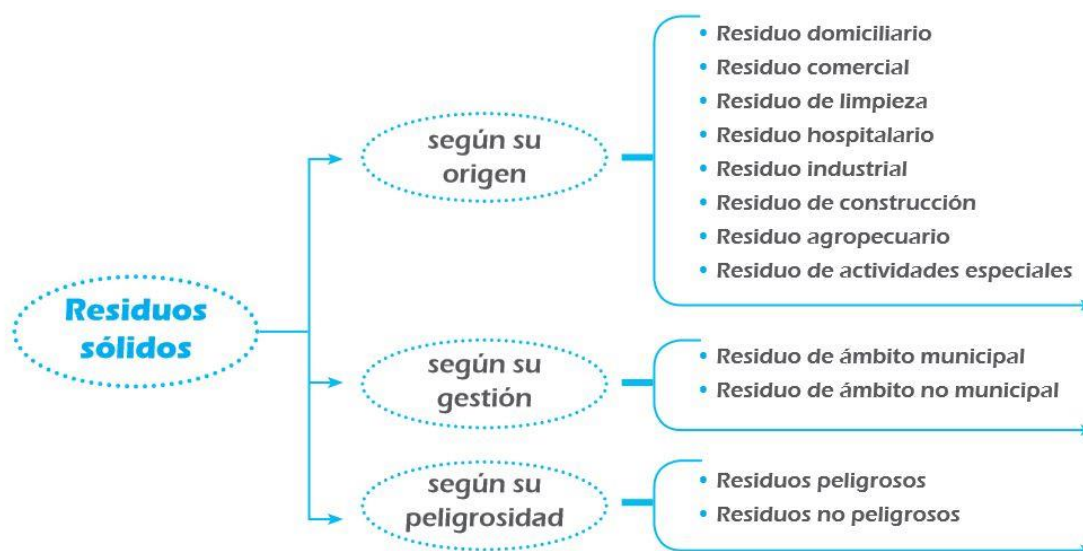
Por otra parte, Reina (2010) afirma que el biogás. Es el gas procedente del proceso de digestión anaerobia de la materia orgánica. Pero como gas, se considera un gas multicomponente, tanto en su composición básica ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , vapor de agua, etc.) como, en sus componentes perjudiciales ( $\text{NH}_3$ , siloxanos, hidrocarburos halogenados [F y Cl], BTEX, VOCs,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc).

#### **2.1.6. RESIDUOS SOLIDOS**

Según Perez & Merino (2011) Define los residuos sólidos como: un residuo es un material que se desecha después de que haya realizado un trabajo o cumplido con misión. Se trata, por lo tanto, de algo inservible que se convierte en basura y que, para el común de la gente, no tiene valor económico. Los residuos pueden eliminarse (cuando se destinan a vertederos o se entierran) o reciclarse (obteniendo un nuevo uso). Sólido, por otra parte, es el adjetivo que hace mención a lo macizo o firme. Un cuerpo Solido mantiene su volumen y su forma constante debido a la gran cohesión de sus moléculas. De esta manera, se diferencia de otros estados de agregación de la materia, como el líquido o el gaseoso.

Según Ministerio del ambiente (2016) Define los residuos sólidos como: Son residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales. En otras palabras, residuos sólidos son todas aquellas sustancias o productos que ya no necesitamos pero que algunas veces pueden ser aprovechados.

Figura 2.5. Clasificación de los residuos sólidos



*Fuente: sociedad peruana de derecho ambiental. (2009). Manual de residuos sólidos.*

### 2.1.7. LAGUNA DE OXIDACIÓN

Según Mongollon (2009) Define la laguna de oxidación como: Las lagunas de oxidación son excavaciones de poca profundidad en el cual se desarrolla una población microbiana compuesta por bacterias, algas y protozoos que conviven en forma simbiótica y eliminan en forma natural patógenos relacionados con excrementos humanos, sólidos en suspensión y materia orgánica, causantes de enfermedades tales como el cólera, el parasitismo, la hepatitis y otras enfermedades gastrointestinales. Es un método fácil y eficiente para tratar aguas residuales provenientes del alcantarillado sanitario. Este sistema es efectivo en costos cuando se dispone de suficiente terreno para construir las; es decir, el costo de la tierra no es de un valor limitante. Existen otras formas de lagunas para el tratamiento de aguas residuales, según su forma de operación pueden ser clasificadas en:

- **Lagunas de oxidación aerobias (aireadas).** Cuando existe oxígeno en todos los niveles de profundidad. Los procesos aeróbicos tienen la ventaja de que aceleran el proceso de descomposición de los residuos orgánicos (en condiciones de suficiente oxígeno) y no producen gases malolientes como resultado de la acción bacteriana. La desventaja de este proceso es que normalmente se requiere energía externa para producir la aireación necesaria.
- **Lagunas de oxidación anaerobias (sin aireación).** Cuando la carga orgánica es tan grande que predomina la fermentación sin oxígeno. Cuando actúan bacterias anaerobias, se producen gases malolientes y por esta razón, las plantas de tratamiento anaeróbicas se construyen como estructuras cerradas con control de emisión de gases para evitar molestias al entorno.
- **Lagunas de oxidación facultativas.** Es el caso que opere como una mezcla de las dos anteriores, la parte superior aerobia y el fondo anaerobio. Esta situación es la más común en una laguna de oxidación expuesta al ambiente.
- **Lagunas de acabado.** Son aquellas que se utilizan para mejorar la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento. En algunas ocasiones se necesita mejorar la calidad del efluente producido, especialmente cuando existen proyectos de reciclado del agua.

## 2.1.8. ASPECTOS GENERALES

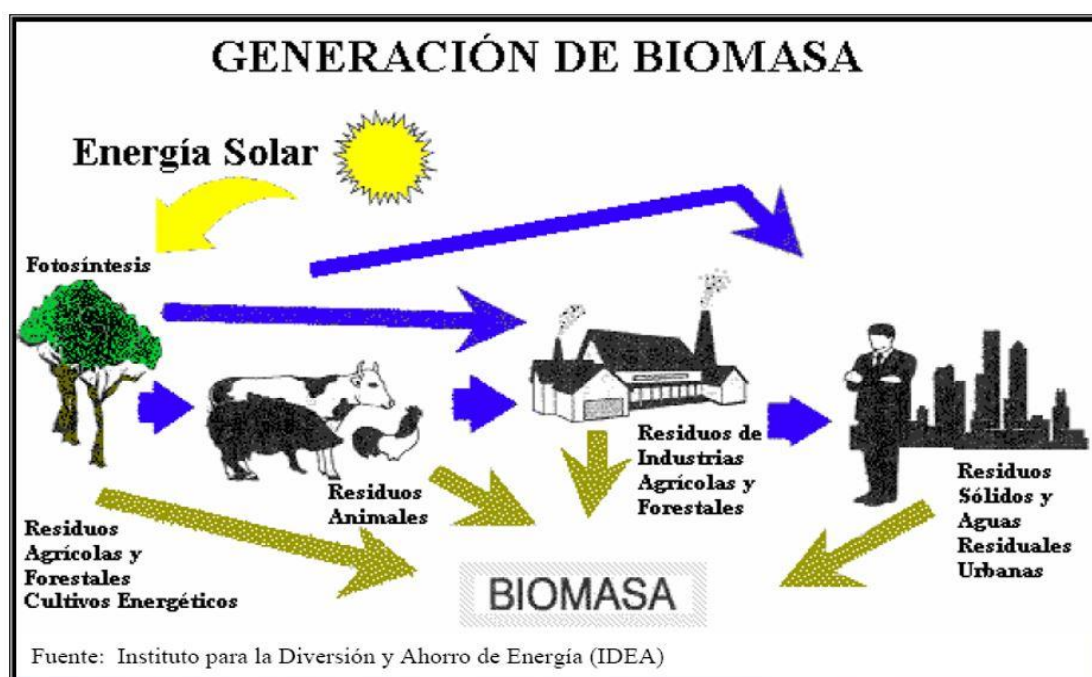
### 2.1.8.1. BIOMASA

Según Gabriel (2014) afirma que el término biomasa, en sentido amplio, se refiera a cualquier tipo de materia orgánica que hay tenido su origen inmediato en un proceso biológico. El proceso de biomasa comprende a los productos tanto de origen vegetal como



animal. En la actualidad se ha aceptado el término biomasa, para denominar al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica formada por la vía biológica. Quedan, por tanto, fuera de este concepto los combustibles fósiles o los productos orgánicos derivados de ellos, aunque también tuvieron un origen biológico en épocas remotas. El término de biomasa se utiliza también en el campo de la ecología para designar a la materia orgánica total presente en un ecosistema determinado, y en microbiología industrial para referirse a la cantidad de microorganismos presentes en un fermentador o producidos en un cultivo.

Figura 2.6. Formas de conversión de biomasa



FUENTE: Instituto para la diversión y ahorro de energía (IDEA)

Tabla 2.3: Principales grupos de biomasa y su sub clasificación.

Biomasa virgen o natural	Biomasa terrestre	Biomasa forestal
		Pastos
		Cultivos energéticos
		Cosechas cultivadas
	Biomasa acuática	Algas
		Plantas acuáticas
Biomasa de residuos	Desechos municipales	Desechos sólidos municipales
		Biosólidos, aguas residuales
		Gas de rellenos sanitarios (vertederos)
	Residuos agropecuarios	Ganadería y estiércoles
		Residuos de cultivos agrícolas
	Residuos forestales	Cortezas, hojas, residuos orgánicos del suelo
	Residuos industriales	Madera de demolición, aserrín
		Aceite usado/grasa

Fuente: Basu 2013

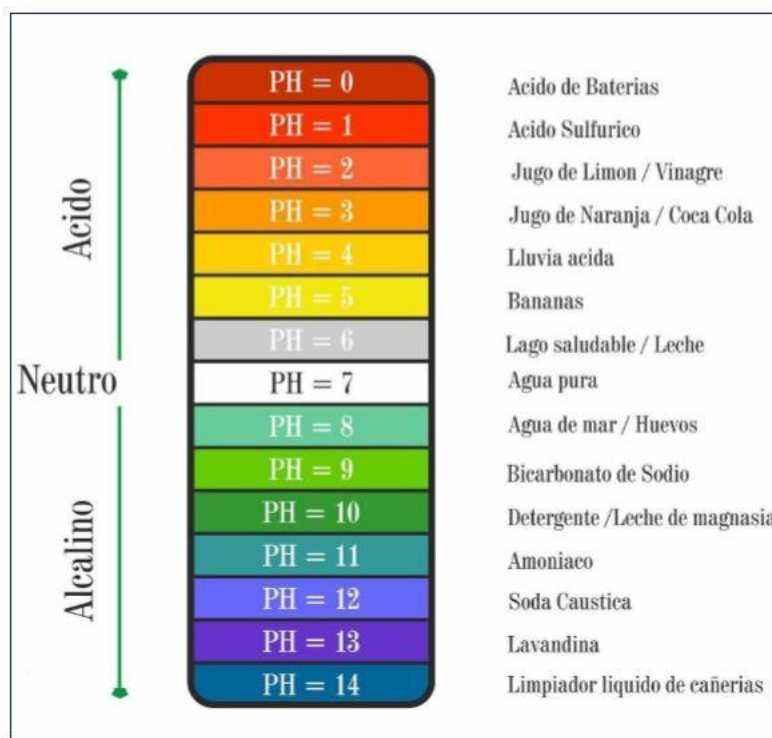
## 2.1.9. PH, PRESIÓN, TEMPERATURA

### 2.1.9.1. PH

Según Hanusovsky, Biro, simko, & Galik (2018). El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El Ph indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La sigla significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones. El significado exacto de la p en «pH» no está claro, pero, de acuerdo con la Fundación Carlsberg, significa «poder de hidrógeno».3 Otra explicación es que la p representa los términos latinos pondus hydrogenii («cantidad de hidrógeno») o potentia hydrogenii (capacidad de hidrógeno). Cada grupo microbiano involucrado en la fermentación anaeróbica tiene una región de pH específica para su crecimiento óptimo. Para los ácidogénicos el pH ideal es de 6, mientras que para los acetógenos y metanógenos es de 7. El pH es, además, un importante modulador del sistema, puesto que influye en varios equilibrios químicos, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un 49 determinado

componente que tenga influencia en el proceso. Por ejemplo, altos pH favorecen la formación de amoníaco libre, auténtico inhibidor de la fase metano génica.

Figura 2.7. Caracterización del PH



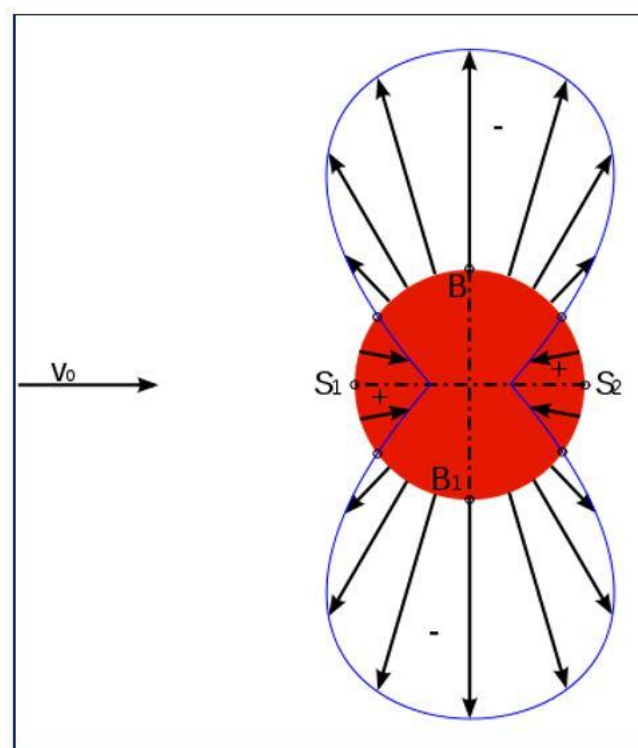
Fuente: Hanusovsky et al., 2018

### 2.1.9.2. PRESIÓN

Según Heriberto (2018) determina que la presión es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una línea. En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en una unidad derivada que se denomina pascal (Pa), que es equivalente a una fuerza total de un newton (N) actuando uniformemente en un metro cuadrado (m<sup>2</sup>). En el Sistema Inglés la presión se mide en libra por pulgada cuadrada

(pound per square inch o psi), que es equivalente a una fuerza total de una libra actuando en una pulgada cuadrada. Heriberto Antonio, P.-E., Emilio, A., Saúl, C., Alejandro, M., Marina, T., & Raúl, F. (2018). Versión en español de la subescala presión del entrenador del MIPS: Propiedades psicométricas. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, Vol 8, Iss 2, Pp 119-127 (2018) (2), 119. doi:10.30552/ejihpe.v8i2.250

Figura 2.8. Presión Superficial



*Fuente: Heriberto Antnio et al., 2018*

### 2.1.9.3. TEMPERATURA

Según Lower (2016) afirma que los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los

microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás. La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. La cuantificación de la temperatura es necesaria por muchas razones, incluidos los experimentos científicos, la predicción del tiempo y muchos procesos de Fabricación. La temperatura, por su definición formal, mide el movimiento de las moléculas en un objeto. Mayor movimiento resulta en temperaturas más altas; a la inversa, menos movimiento resulta en temperaturas más bajas. El subproducto es el calor, por lo que a menudo se piensa que la temperatura mide el calor de un objeto. Los matemáticos, muchos de los cuales también son físicos, han hecho importantes contribuciones en la cuantificación del calor y en el desarrollo de las escalas de temperatura ampliamente utilizadas en el siglo XXI.

Figura 2.9. Termómetro en escala de Fahrenheit y Grados Celsius

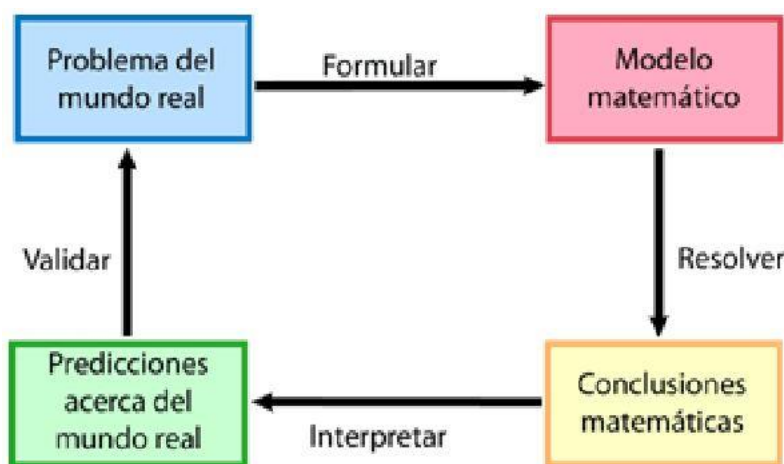


*Fuente: Lower, 2016*

### 2.1.10. SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO DE BIOGÁS

Según Bolton (2001) define que un modelo matemático describe teóricamente un objeto que existe fuera del campo de las Matemáticas. Las previsiones del tiempo y los pronósticos económicos, por ejemplo, están basados en modelos matemáticos. Su éxito o fracaso depende de la precisión con la que se construya esta representación numérica, la fidelidad con la que se concreten hechos y situaciones naturales en forma de variables relacionadas entre sí.

Figura 2.10. Modelo de procesos



*Fuente: TECSUP, 2014*

#### 2.1.10.1. VARIABLE CONTROLADA Y VARIABLE MANIPULADA

Según Ogata (2005) concluye que la variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La, variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado.

### a) Sistema de Control de lazo Abierto

La salida se realiza sin tener en cuenta si lo que se pide se hace bien o mal, normalmente el tiempo es la variable que controla el sistema.

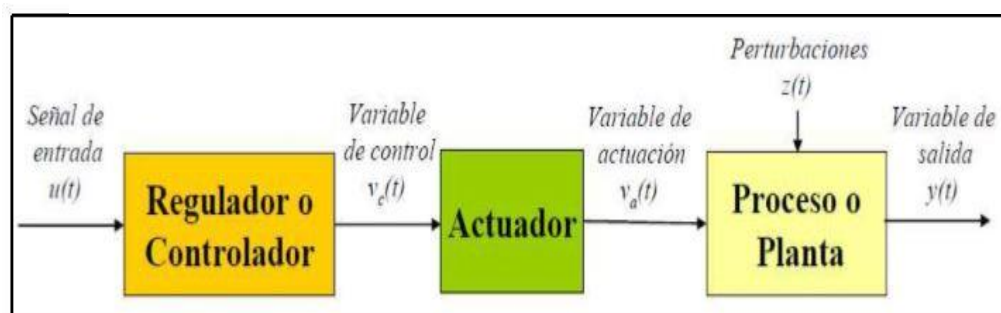
- La salida no tiene efecto sobre el controlador.
- No se compara la salida del sistema con la entrada de referencia.
- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.

Figura 2.11. Sistema de Control de Lazo Abierto



*Fuente: TECSUP, 2014*

Figura 2.12. Sistema de Control Abierto



*Fuente: TECSUP, 2014*



**b) Sistema de Control de lazo Cerrado**

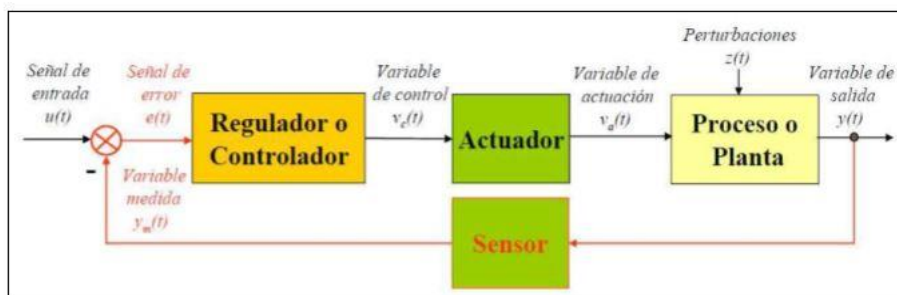
Según TECSUP (2014) afirma que la salida se compara con la entrada de forma que se comprueba en todo momento que la salida es la esperada y si no es así el sistema se corrige. La salida del sistema se mide por medio de un Sensor, y se compara con el valor de la entrada de referencia  $u(t)$ .

Figura 2.13. Sistema de Control de Lazo Cerrado



*Fuente: TECSUP, 2014*

Figura 2.14. Sistema de control de lazo cerrado



*Fuente: TECSUP, 2014*



## **2.1.11. HIPOTESIS**

### **2.1.11.1. HIPOTESIS GENERAL**

Los residuos Sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno, Periodo 2018. Son viables y aceptable para la adquisición optima del Biogás.

### **2.1.11.2. HIPOTESIS ESPECÍFICOS**

- ❖ Es posible Dimensionar un Módulo que permita la obtención de Biogás a partir de los Residuos Sólidos de la Laguna de Oxidación Espinar Puno, Periodo 2018.
- ❖ La obtención del Biogás a Partir de los Residuos Sólidos de la laguna de Oxidación Espinar – Puno, es óptimo, económica, energética y ecológicamente aceptable.

## CAPITULO III

### 3.1. MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación desarrollado en la presente tesis es del tipo de investigación aplicada y experimental. Se utilizó 3 softwares SOMACHINE V.4.3, STATGRAPHICS Centurión y AutoCAD.

#### 3.1.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

Lagunas de oxidación espinar de la ciudad de Puno.

#### 3.1.3. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN

Construida en el año 1972, capacidad de tratamiento entre 40 al 45% de aguas servidas de la ciudad de Puno.

Estuvo operativa hasta el año 1985, la cual quedo inhabilitado por las lluvias que condujeron a una inundación en las lagunas.

Entre los años 1995 y 1996 EMSA PUNO S.A. con el financiamiento del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (PRONAP), rehabilito la antigua planta del Espinar ampliando su capacidad de tratamiento hasta cubrir un 70% del total de aguas servidas de la ciudad de Puno.

#### 3.1.4. CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN

La laguna de oxidación Espinar se ubica en el departamento de Puno, Provincia Puno, Distrito Puno. En el barrio Chanu Chanu localizado en la sierra del sudeste del país, Limita por el Sur, con la región Tacna. Por el Este, con la República de Bolivia y por el Oeste, con

las regiones de Cusco, Arequipa y Moquegua. La región Puno se encuentra en el altiplano entre los 3812 m.s.n.m.

## 1. CLIMA

Semilluvioso y frío en verano. Seco en las estaciones de otoño, invierno y primavera.

La temperatura promedio es de 9.1 °C.

## 2. COMPONENTES

Compuesta por dos lagunas de estabilización en serie:

- Laguna Primaria de forma irregular con una extensión de 13.4 Ha
- Laguna Secundaria de forma irregular con una extensión de 7.9Ha.

Figura 3.15. Vista de la laguna Espinar por Google Eath



*Fuente: Google Earth*

### 3.2. MUESTRA Y POBLACION

La muestra para el estudio fue con los 9 Kg de residuos sólidos extraídos de la laguna de oxidación espinar – Puno, agua en cierto porcentaje que fueron colocados dentro del biorreactor herméticamente sellado y conservado a una temperatura promedio de 35 °C.

La muestra es monitoreada en tiempo real por un sensor de temperatura (PT-100), un sensor de metano y un sensor de presión analógico en PSI conectados a un PLC para la verificación y la adquisición de datos en tiempo real.

### 3.3. PROCEDIMIENTO INICIAL DEL PROCESO

Para verificar la producción de biogás, se siguió la siguiente metodología:

#### 3.3.1. INFORMACIÓN BÁSICA

Se han recopilado la información básica de la investigación usando equipos e instrumentos de medición de parámetros físicos, el cual nos permiten medir las variables del proceso:

*Tabla 3.1: Equipos utilizados en el proceso de investigación.*

ITEM	INSTRUMENTO		
	Y/O EQUIPO	UNIDAD	PARAMETRO
01	Sensor de metano	ppm	Medición de gas metano
02	Módulo de expansión 4 entradas analógicas (RTD, ternopar) Schneider electric	Señales	Recibe señales con más de dos valores de información.

<b>03</b>	Sensor de presión analógico de (4-20)mA 24VDC	PSI	Sensor de presión del biogás y volumen de producción.
<b>04</b>	Sensor de temperatura PT-100 de tres hilos	°C	Medición de temperatura.
<b>05</b>	Controlador lógico programable (PLC) zelio	Procesamiento De señales	Es el cerebro del proceso para evaluar indicadores y controlar procesos.
<b>06</b>	Variador de frecuencia solar	Control de flujo de caudal	Es el encargado de controlar la velocidad de la electrobomba (caudal).
<b>07</b>	Electrobomba centrífuga de 0.5 HP	Caudal	Es el encargado de realizar el trabajo con la impulsión de caudal.

*Elaboración propia*

### 3.4. METODOLOGÍA

Manipulación y transporte de las muestras de residuos sólidos de la laguna de oxidación

#### 3.4.1. MUESTREO

Para que la muestra sea representativa, se prefiere recoger los residuos sólidos de la laguna de oxidación espinar Puno. Datos Obtenidos de la medición de la presión, gas metano y temperatura, se hizo 8 muestras de diferentes puntos de la laguna de oxidación espinar Puno, cada muestra durante una semana en un intervalo de 1 hora entre cada dato, desde el 20-MAY-2019 hasta el 15-JUL-2019, recogiendo dicha información mediante el PLC.

Figura 3.16. Llenado de los residuos sólidos al biorreactor



*Elaboración propia*

Tabla 3.2: Numero de muestras, coordenadas (UTM) y profundidad (m) de las muestras.

Numero de muestras	coordenadas UTM		Profundidad (m)
1	392451	8247365	1.53
2	392528	8247346	1.86
3	392630	8247344	1.64
4	392755	8247259	1.92
5	392884	8247174	2.06
6	393004	8247087	2.13
7	392373	8247075	2.24
8	392495	8247210	2.42

*Elaboración propia*

Tabla 3.3. Cantidad de los residuos sólidos (Kg), temperatura (°C) y volumen del biogás (L).

numero de muestras	cantidad de residuos (Kg)	Temperatura (°C)	Volumen del biogás (L.)
1	9	35	2.4
2	9	35	2.6
3	9	35	3.1
4	9	35	3.4
5	9	35	3.8
6	9	35	4
7	9	35	4.5
8	9	35	4.6

*Elaboración propia*

### 3.5. MATRIZ DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Relación de transformaciones

De variable natural a variable codificada

$$Xi = \frac{Vi - \bar{v}}{\frac{\Delta V}{2}} \dots\dots\dots 1.3$$

Xi = V. codificada

Vi = Variable natural

$\bar{v}$  = promedio

$\Delta V$  = diferencia

Temperatura (°C)

T = 30 bajo

T = 35 alto

1) T = 30 C

$$Xi = \frac{30 - 32.5}{\frac{35 - 30}{2}} = \frac{-2.5}{2.5} = -1$$

2) T = 35 C

$$Xi = \frac{35 - 32.5}{\frac{35 - 30}{2}} = \frac{2.5}{2.5} = 1$$

Presión (PSI)

PSI = 1.20 bajo

PSI = 14.76 alto

1) PSI = 1.20

$$Xi = \frac{1.20 - 7.98}{\frac{14.76 - 1.20}{2}} = \frac{-6.78}{6.78} = -1$$

2) PSI = 14.76

$$Xi = \frac{14.76 - 7.98}{\frac{14.76 - 1.20}{2}} = \frac{6.78}{6.78} = 1$$



Volumen CH<sub>4</sub>

V = 2.4 bajo

V = 4.6 alto

1) V = 2.4

$$Xi = \frac{2.4 - 3.5}{\frac{4.6 - 2.4}{2}} = \frac{-1.1}{1.1} = -1$$

2) V = 4.6

$$Xi = \frac{4.6 - 3.5}{\frac{4.6 - 2.4}{2}} = \frac{1.1}{1.1} = 1$$

Modelo matemático

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_2X_3$$

Tabla 3.4: Matriz de diseño experimental  $2^3=8$ .

N	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	2.4
2	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	2.6
3	+1	-1	+2	-1	+1	-1	+1	3.1
4	+1	+1	+2	-1	-1	-1	-1	3.4
5	+1	-1	-2	+1	-1	-1	+1	3.8
6	+1	+1	-2	+1	+1	-1	-1	4
7	+1	-1	+2	+1	-1	+1	-1	4.5
8	+1	+1	+2	+1	+1	+1	+1	4.6

*Elaboración propia*

### 3.6. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL MODULO

#### 3.6.1. SENSOR DE GAS METANO ARDUINO MQ4

Según (Volta, 2017) afirma que los sensores de la serie MQ4 usan un pequeño calentador en el interior con un sensor electroquímico para medir diferentes tipos de combinaciones de gases. Se pueden calibrar, pero, para hacer eso, se necesita una concentración conocida del gas o gases medidos, para fines industriales, las calibraciones se realizan en laboratorios especiales de metodología con sondas y pruebas precisas.

El producto dice que sensor MQ4 puede detectar metano/gas natural fácilmente con una sensibilidad de rango 300 a 10000ppm.

Este modelo viene con 4 pines:

- 1 pin VCC 5v
- 1 pin GND
- 1 pin DO (salida digital) TTL digital 0 y 1 (0.1 y 5V)

- 1 pin DO (salida analógica) 0.1-0.3V (limpio), la concentración más alta de voltaje alrededor de 4V.

Figura 3.17. Sensor de gas metano arduino



*Fuente: Volta, 2017*

### **3.6.2. MODULO DE EXPANSION 4 ENTRADAS ANALOGICAS (RTD, TERMOPAR) SCHNEIDER ELECTRIC**

Según SOMACHINE-CENTRAL (2017) define que los módulos reciben señales con más de dos valores de información. Dos estándares muy usados son las que se mantienen entre los rangos establecidos.

También entre los módulos analógicos se encuentran los módulos para medir temperatura usando termopares o RTD.

Los módulos de entrada analógicos, usualmente, tienen varios canales. Dependiendo del diseño del módulo, cada canal puede medir corriente, voltaje o ambos.

Figura 3.18. Módulo de expansión 4 entradas analógicas



*Fuente:* (SOMACHINE-CENTRAL, 2017)

### 3.6.3. SENSOR DE PRESIÓN ANALÓGICO

Según TECSUP (2014) afirma que los sensores de presión son dispositivos que transforman la magnitud física de presión por unidad de superficie en una señal normalizada, normalmente (4 a 20) mA. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar. Los sensores de presión sin amplificación de señal se llaman también transductores (TECSUP, 2014).

Figura 3.19. Sensor de presión analógico



*Fuente:* (TECSUP, 2014).

### 3.6.4. SENSOR DE TEMPERATURA PT-100

Según TECSUP (2014) define que los sensores Pt100 son un tipo específico de detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). La característica más importante de los elementos Pt100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C y es con diferencia el tipo más común de sensor RTD. El rango de temperatura varía entre (-250 a 650) °C, según el modelo.

Figura 3.20. Sonda de temperatura PT-100



*Fuente:* (TECSUP, 2014).

### 3.6.5. CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE (PLC) ZELIO

Según SOMACHINE-CENTRAL (2017) define que un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller) o por autómatas programables, es una computadora utilizada en automatización del biorreactor, para automatizar procesos, tales como el control de temperatura, gas metano y presión durante el proceso. El Módulo de dimensionamiento de un biorreactor; cuenta con un

Controlador Lógico Programable (PLC) modelo: Modicon TM241, con la finalidad controlar y monitorear en tiempo real el proceso de medición de temperatura, la presión, el gas metano y presión del biorreactor. Controlador lógico TM241CE24R: 14 entradas digitales, 10 salidas digitales, puerto de comunicación. El que se muestra en la figura.

Figura 3.21. Controlador lógico programable, medición TM241



*Fuente:* (SOMACHINE-CENTRAL, 2017)

### 3.6.6. VARIADOR DE FRECUENCIA

Según SOMACHINE-CENTRAL (2017) define que los variadores de frecuencia son aquellos equipos que se basan en el principio de modificación de velocidad a través de la variación de frecuencia, pueden ser programados para cambiar la velocidad en un proceso de manera controlada sin causar disturbios en la red de alimentación, tiene una potencia de 0,25 HP.

Figura 3.22. Variador de frecuencia



*Fuente:* (SOMACHINE-CENTRAL, 2017)

### 3.6.7. ELECTROBOMBA CENTRIFUGA TRIFÁSICO

Según TECSUP (2014) determina que tiene la función principal de impulsar el agua caliente que es suministrada por el tanque de agua de 5 galones y enviarla al biorreactor, para recirculación de agua caliente por el serpentín, tiene una potencia de 0,25 HP y una tensión de 220v.

Figura 3.23. Electrobomba centrífuga trifásica



*Fuente:* (TECSUP, 2014).

### 3.6.8. SISTEMA DE MANDO Y SEÑALIZACION PULSADORES SELECTORES

Una completa gama de elementos de mando y señalización para todo tipo de aplicaciones industriales. Todos los pulsadores, pilotos y actuadores son rápidos y fáciles de instalar, siendo una elección natural para tableristas e instaladores.

Figura 3.24. Sistema de mando y pulsadores



*Fuente: Catálogo general de productos – 2016, automatización y control.*



## CAPITULO IV

### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

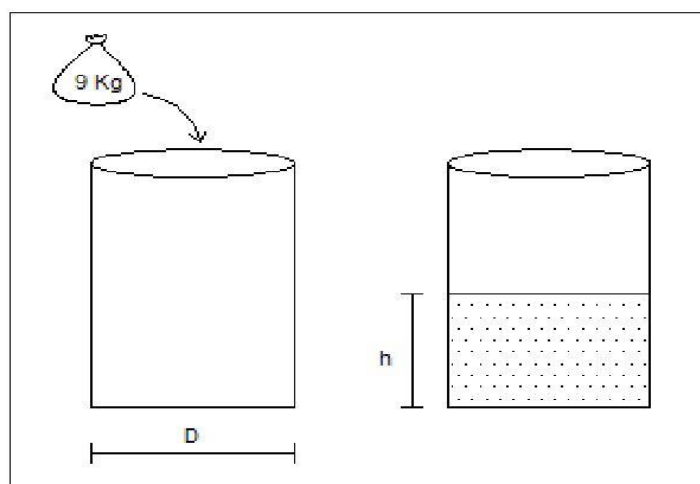
#### 4.1.1. RESULTADOS

En este capítulo presentare los resultados del análisis de los datos obtenidos en la investigación, los mismos que se desarrollan a continuación.

##### 4.1.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL BIORREACTOR

Se dimensionó un biorreactor de acero inox con un sistema de calefacción, incorporado con un serpentín galvanizado de cobre dentro del biorreactor, para la transferencia de calor, cuya función es acelerar el tiempo de fermentación de los residuos sólidos.

Figura 4.25. muestra realizada con 9 kg.



*Elaboración propia*

**Cálculo del volumen del biorreactor**

$$V = \pi r^2 h \dots\dots\dots 1.4$$

**Dónde:** $\pi$  = valor de Pi. $r$  = radio del cilindro. $h$  = altura que alcanza el estiércol en el cilindro.

$$V = \pi r^2 h \dots\dots\dots 2.4$$

$$V = \pi * (15.5 \text{ cm})^2 * (54 \text{ cm})$$

$$V = \pi * (240.25) * (54)$$

$$V = 40796.4681 \text{ cm}^3 \approx 40.79 \text{ L.}$$

**Cálculo de densidad del metano**

$$\rho = \frac{P * M}{R * T} \dots\dots\dots 3.4$$

Donde:

 $\rho$  = densidad del metano $P$  = presión para el metano $M$  = peso molecular del metano $R$  = constante universal de los gases $T$  = temperatura del metano.

$$\rho = \frac{(0.99atm) * (16.04g/mol)}{(0.0821 \frac{L * atm}{mol * K}) * (308 K)}$$

$$\rho = 0.6280 g/L$$

**Cálculo del volumen total de metano en base al total de lodo de la laguna de oxidación**

**Espinar**

$$\rho = 0.6289 g/L.....4.4$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$A = 134000 m^2$$

$$V = 134000 m^2 \times 1.80 m$$

$$V = 241200 m^3 \text{ (lodo)}$$

Del experimento

9 Kg lodo----- 4.5 L Metano (CH<sub>4</sub>)

151473.6 Kg lodo-----X

$$X = \frac{(151473.6 Kg)(4.5 L Metano)}{9Kg}$$

$$X = \frac{681631.2}{9}$$

$$X = 75736.8 L Gas (CH_4)$$

$$X = 75.7308 m^3 Gas (CH_4)$$

### **Dimensionamiento de la espiral de Cu:**

#### **Tubería de Cobre**

Se instaló un serpentín de cobre galvanizado de 3/8: 6m, espesor ( $e=0.6\text{mm}$ ), en el interior del biorreactor, para la recirculación del agua caliente, manteniendo una temperatura constante de  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  Tubo 3/8.

Figura 4.26. Tubería de Cu de forma espiral



*Elaboración propia*

#### **4.1.1.2. SELECCIÓN DE MATERIALES INCORPORADOS AL BIORREACTOR**

##### **A. SENSOR DE TEMPERATURA ANALÓGICO PT-100**

Con el sensor de Temperatura Analógico PT – 100 se logró obtener diferentes datos de temperatura con relación al tiempo de fermentación de los residuos sólidos, y así monitorear a tiempo real cada variación de temperatura dentro del biorreactor.

Figura 4.27. Sonda de temperatura PT-100



*Elaboración propia*

## **B. SENSOR DE PRESIÓN ANALÓGICO**

Los sensores de presión son dispositivos que transforman la magnitud física de presión por unidad de superficie en una señal normalizada, normalmente (4 a 20) mA. Los rangos de medida son muy amplios, desde unas milésimas de bar hasta los miles de bar. Los sensores de presión sin amplificación de señal se llaman también transductores (TECSUP, (2014)).

Figura 4.28. Sensor de presión analógico



*Elaboración propia*

### **C. SENSOR DE GAS METANO ARDUINO MQ4**

Según Volta (2017) afirma que los sensores de la serie MQ4 usan un pequeño calentador en el interior con un sensor electroquímico para medir diferentes tipos de combinaciones de gases. Se pueden calibrar, pero, para hacer eso, se necesita una concentración conocida del gas o gases medidos, para fines industriales, las calibraciones se realizan en laboratorios especiales de metodología con sondas y pruebas precisas.

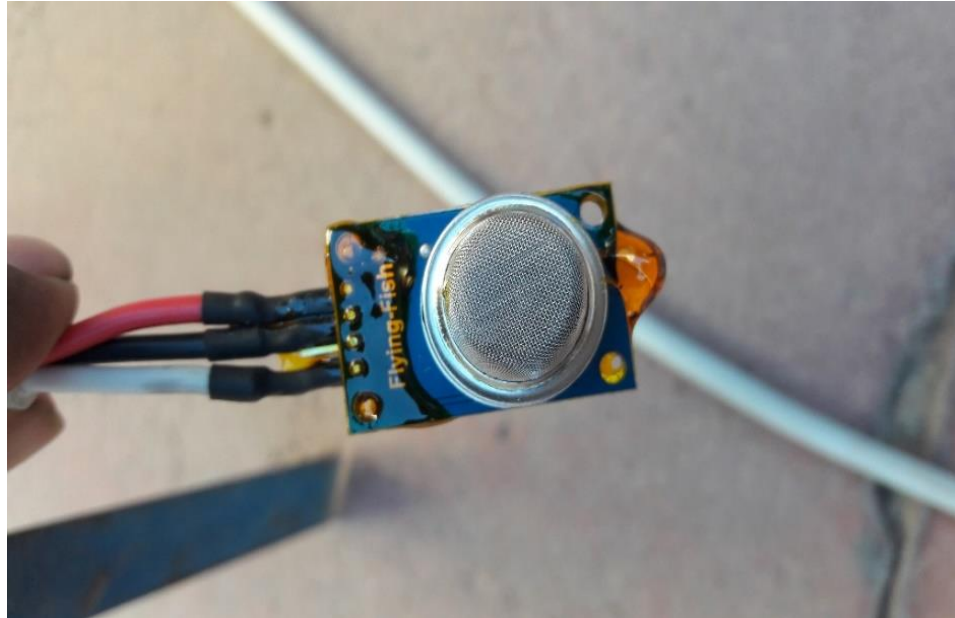
El producto dice que sensor MQ4 puede detectar metano/gas natural fácilmente con una sensibilidad de rango 300 a 10000ppm.

Este modelo viene con 4 pines:

- 1 pin VCC 5v
- 1 pin GND
- 1 pin DO (salida digital) TTL digital 0 y 1 (0.1 y 5V)

- 1 pin DO (salida analógica) 0.1-0.3V (limpio), la concentración más alta de voltaje alrededor de 4V.

Figura 4.29. Sensor de gas metano

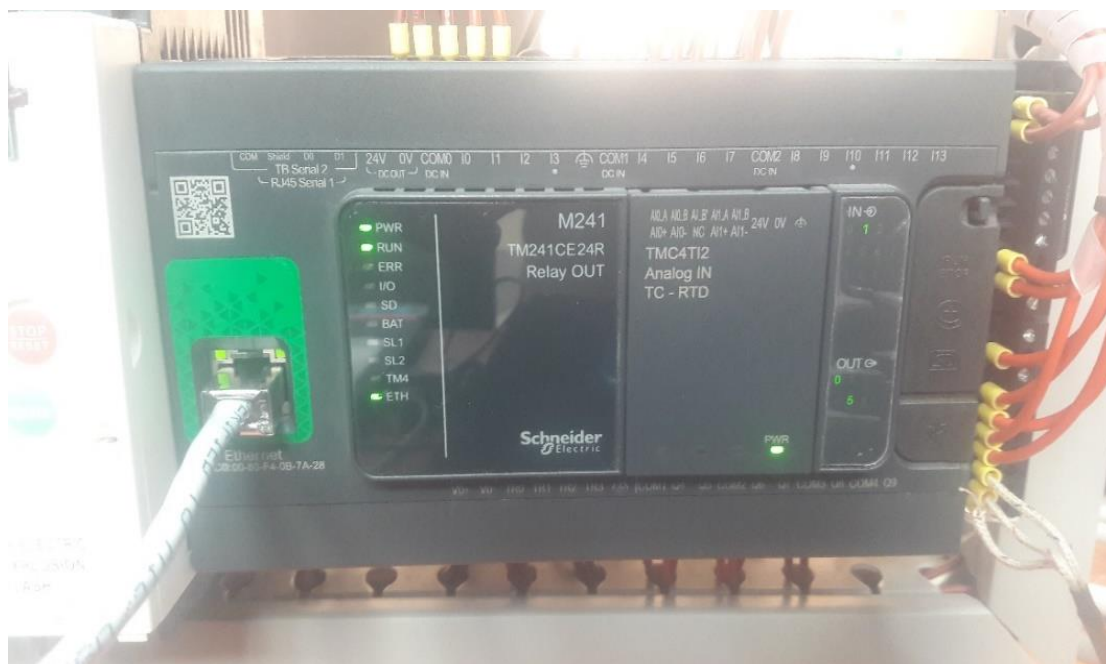


*Elaboración propia*

#### **D. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) ZELIO**

El Controlador Lógico Programable (PLC) modelo: Modicon TM241, se automatizo con los sensores de temperatura, presión, gas metano y resistencia eléctrica logrando controlar y monitorear en tiempo real el proceso de medición de temperatura, gas metano y presión del biorreactor.

Figura 4.30. controlador lógico programable, medición TM241



*Elaboración propia*

## **E. VARIADOR DE FRECUENCIA**

Se logró utilizar el variador de frecuencia para variar la velocidad del flujo del agua caliente a una velocidad de 50 Hz, recirculación del agua caliente en todo el sistema, tiene una potencia de 0,25 HP.



Figura 4.31. Variador de frecuencia



*Elaboración propia*

## **F. ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA TRIFÁSICA.**

Se logró utilizar la electrobomba trifásica de 0.25 HP haciendo la conexión monofásica para impulsar el agua caliente que es suministrada por el tanque de agua de 5 galones y enviarla al biorreactor, para recirculación de agua caliente por el serpentín, tiene una potencia de 0,25 HP y una tensión de 220v.

Figura 4.32. Electrobomba centrífuga trifásica



*Elaboración propia*

#### **G. SISTEMA DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN PULSADORES SELECTORES**

Se instaló los pulsadores para controlar mediante el PLC la automatización del Módulo, tanto para inicio y fin (prendido/apagado) del sistema RELE RAPIDO CON ENTRADA TENSION TRANSITORIO Y EL CUERPO

Los relés encapsulados son utilizados en control eléctrico y como interfaces en aplicaciones industriales:

- Permiten adecuar señales de bajo nivel a un nivel superior, unen el control electrónico (PLC), PC, o buses de campo con el nivel de sensores y actuadores.
- Conmutación de tensiones desde (24Vdc a 220Vac), y en corriente desde unos poco 3mA hasta 16A.

Figura 4.33. Sistema de mando, señalización pulsadores y todo el control



*Elaboración propia*

#### 4.1.1.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de VOLUMEN DEL BIOGAS en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando, su cuadrado medio contra un estimado del error experimental.

En este caso, 1 efecto tiene un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%.

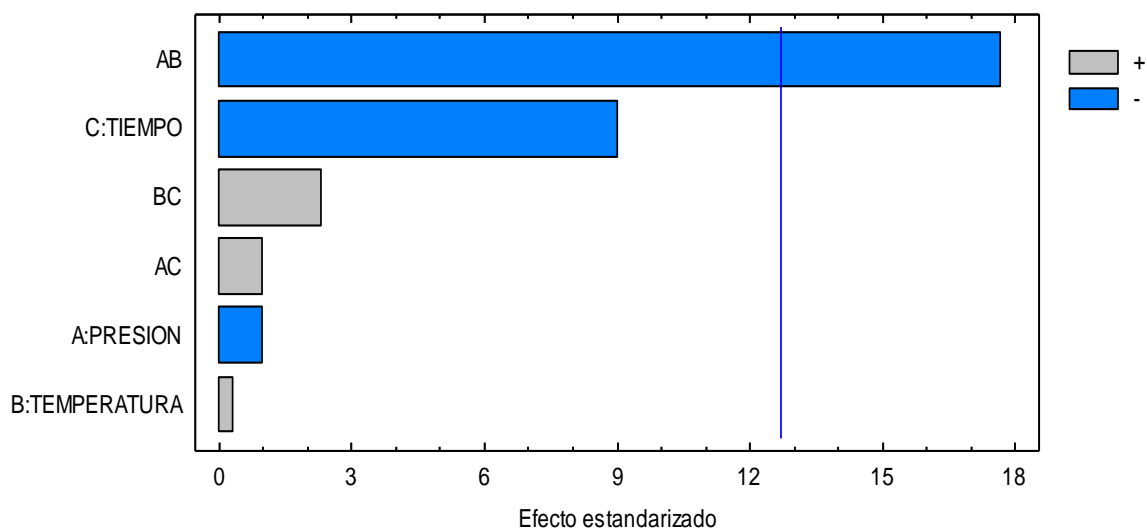
El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 99,751% de la variabilidad en VOLUMEN DEL BIOGAS. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,2573%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0,106066. El error medio absoluto (MAE) de 0,0375 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo.

Tabla 4.1: Análisis de Varianza para volumen del biogás.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: PRESION	0,01125	1	0,01125	1,00	0,5000
B: TEMPERATURA	0,00125	1	0,00125	0,11	0,7952
C: TIEMPO	0,91125	1	0,91125	81,00	0,0704
AB	3,51125	1	3,51125	312,11	0,0360
AC	0,01125	1	0,01125	1,00	0,5000
BC	0,06125	1	0,06125	5,44	0,2578
Error total	0,01125	1	0,01125		
Total (corr.)	4,51875	7			

$R^2 = 98,2573$  porciento

Figura 4.34. Diagrama de Pareto Estandarizada para volumen de biogás



Elaboración propia

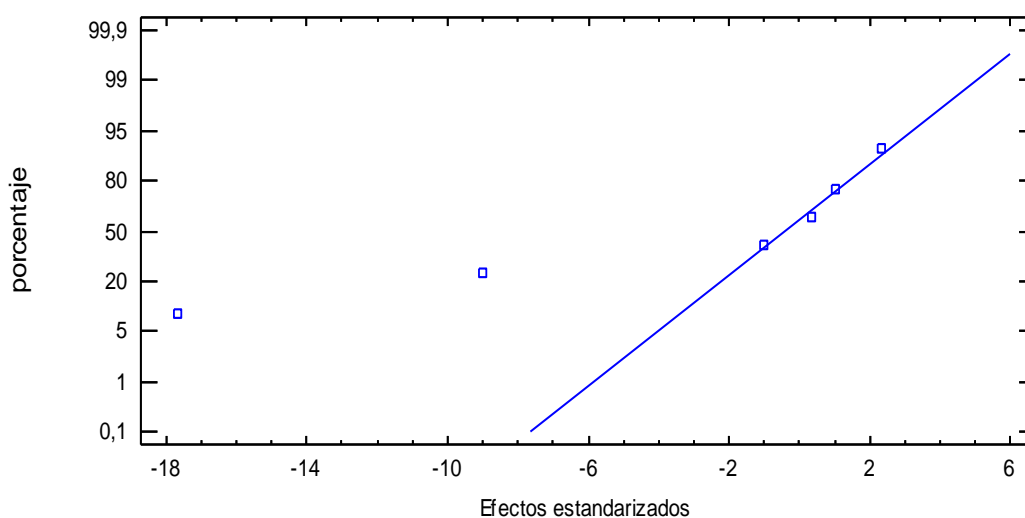
## MODELO MATEMÁTICO

$$Y = -0,462901 + 0,616299 * P + 0,147449 * T - 0,00414162 * T^2 - 0,0207308 * P^2$$

Esta tabla contiene información acerca de los valores de VOLUMEN DEL BIOGAS generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de VOLUMEN DEL BIOGAS (si alguno)
- (2) el valor predicho de VOLUMEN DEL BIOGAS usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95,0% para la respuesta media

Figura 4.35. Gráfico de probabilidad normal del volumen

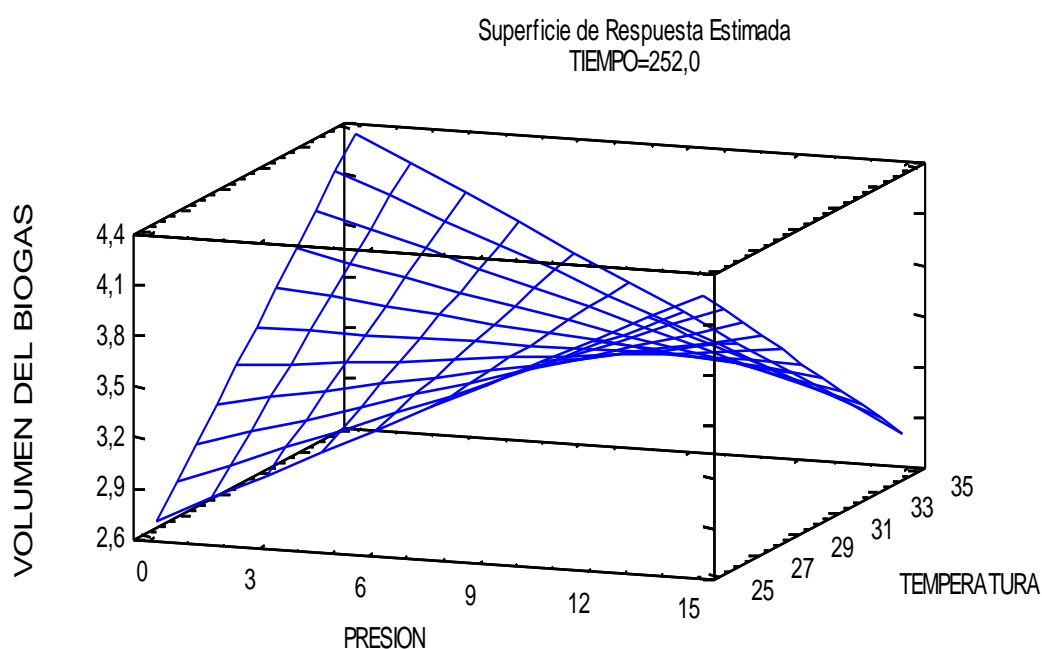


*Elaboración propia*

Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas locaciones para correr experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar VOLUMEN DEL BIOGÁS. Actualmente, 6 puntos se han generado

cambiando PRESIÓN en incrementos de 1,0 PSI. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionado Opciones de Ventana. STATGRAPHICS determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso. El programa también calcula la VOLUMEN DEL BIOGÁS estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

Figura 4.36. Superficie de Respuesta Estimada



#### 4.1.1.4. VALOR ÓPTIMO DE LA PRODUCCION DEL METANO

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza VOLUMEN DEL BIOGAS sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Meta: maximizar VOLUMEN DEL BIOGÁS

Valor óptimo = 4,411 L.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
PRESION	1,19	14,76	14,76
TEMPERATURA	25,58	35,0	25,58
TIEMPO	24,0	480,0	24,0

**4.1.1.5. VOLUMEN DE GAS METANO GENERADO MATEMATICAMENTE**

En este apartado se calcula la cantidad total de biogás (gas metano) que se genera a partir de los residuos sólidos, en función de su composición.

La determinación del volumen del gas metano en el biocombustible gaseoso generado en el biorreactor fue a partir de la cantidad de sustratos agregados y formulas empiricas propuesta por (Rittmann & Mccarty, 2011).

*Tabla 4.2: Constituyente orgánico lentamente descomponible a nivel de planta piloto.*

CONSTITUYENTES ORGANICOS LENTAMENTE DESCOMPONIBLES						
COMPONENTES	PESO SECO (Kg)	COMPOSICION EN (Kg )				
		C	H	O	N	S
LODOS	9	5.1	0.52	2	0.54	0.84

Fuente: (Rittmann & Mccarty, 2011).

Donde  $C_{291}H_{445}O_{143}N_{0,7}S_{14}$  corresponde a la formula obtenida para lodos residuales incluyendo residuos sólidos, comida, jardín y otros.

➤ C: 291

- H: 445
- O: 143
- N: 0,7
- S: 14

Se halló el peso molecular de la formula empírica  $C_{291}H_{445}O_{143}N_{0,7}S_{14}$  que es igual a:

$$C: 291 \times 12,0107g/mol = 3495,1137g/mol$$

$$H: 445 \times 1,0079g/mol = 448,5155g/mol$$

$$O: 143 \times 15,999g/mol = 2287,857g/mol$$

$$N: 0,7 \times 14,007g/mol = 9,8049g/mol$$

$$S: 14 \times 32,06g/mol = 448,84g/mol$$

$$\sum_{total} = 6690,1311$$

Aplicando la siguiente formula:

$$composicion (Kg)del\ elemento = \frac{(peso\ seco) * (peso\ molecular\ del\ elemento)}{peso\ molecular\ total\ CHONS}$$

$$C(Kg) = \frac{(9,0)(3495,1137)}{6690,1311} = 4,7018$$

$$H(Kg) = \frac{(9,0)(448,5155)}{6690,1311} = 0,6034$$

$$O(Kg) = \frac{(9,0)(2287,91)}{6690,1311} = 3,0778$$



$$N(Kg) = \frac{(9,0)(9,8049)}{6690,1311} = 0,0132$$

$$S(Kg) = \frac{(9,0)(448,84)}{6690,1311} = 0,6038$$

Hallando la formula empírica

$$5,10Kg \text{ C} * \frac{1 \text{ mol de atomos de C}}{12,0107Kg \text{ C}} = 0,4246 \text{ moles de atomos de C}$$

$$0,52Kg \text{ H} * \frac{1 \text{ mol de atomos de H}}{1,00794Kg \text{ H}} = 0,5159 \text{ moles de atomos de H}$$

$$2,0Kg \text{ O} * \frac{1 \text{ mol de atomos de O}}{15,999Kg \text{ O}} = 0,1250 \text{ moles de atomos de O}$$

$$0,54Kg \text{ N} * \frac{1 \text{ mol de atomos de N}}{14,0067Kg \text{ N}} = 0,0386 \text{ moles de atomos de N}$$

$$0,84Kg \text{ S} * \frac{1 \text{ mol de atomos de S}}{32,01Kg \text{ S}} = 0,0262 \text{ moles de atomos de S}$$

Las razones expresan dos números relativos de átomos de cada elemento y pueden escribirse como:



Como debe ser un entero entonces se divide cada número por el valor mínimo de ellos:

$$C = \frac{0,4246mol}{0,0262mol} = 16,2061$$

$$H = \frac{0,5159mol}{0,0262mol} = 19,6908$$

$$O = \frac{0,1250\text{mol}}{0.0262\text{mol}} = 4,7710$$

$$N = \frac{0,0386\text{mol}}{0.0262\text{mol}} = 1,4733$$

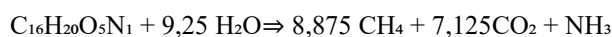
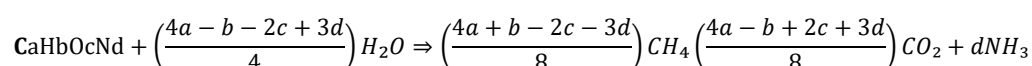
$$S = \frac{0,0262\text{mol}}{0.0262\text{mol}} = 1$$

Por lo tanto, la formula empírica es:



Formula química aproximada:

**Materia orgánica + H<sub>2</sub>O ----- CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> + otros gases**



Determinación del volumen del gas metano

$$P \text{ específico } CH_4 = 0,717\text{Kg/m}^3$$

$$P \text{ específico } CO_2 = 1,978\text{Kg/m}^3$$

$$P \text{ específico } NH_3 = 0,771\text{Kg/m}^3$$

Volumen del gas metano

$$CH_4 = \frac{(\text{peso molar})(\text{peso muestral})}{(\text{peso molar})(\text{densidad})}$$

$$CH_4 = \frac{(71\text{g/mol})(9000\text{g})}{(306\text{g/mol})(0,6280\text{g/l})}$$

$$CH_4 = 3,33 \text{ L.} \approx 3330 \text{ cm}^3$$

#### **4.1.2. DISCUSIÓN**

Conforme a lo desarrollado durante la investigación, se ha dejado claro que existen pocos investigadores sobre el tema de producción de biogás con residuos sólidos.

La producción de biogás en una investigación hecha por (Huanca 2017), procesos anaerobicos dio como resultado la obtencion del biogas aproximanada en 43 dias, llegando a una presion constante de 214.5 cm<sup>3</sup>, en nuestra investigación la presión máxima fue de 14.76 PSI en 7 días a una temperatura promedio de 35 °C

Dada a su complejidad, existe un consenso entre los investigadores que la producción de biogás varía según la temperatura y según el tipo de biodigestores que existen.

#### **EL BIODIGESTOR**

Según Huanca (2017) afirma que el problema de las aguas residuales y por ende de los lodos residuales en la ciudad de Puno tiene un efecto directo sobre el desarrollo de la ciudad. La falta de una gestión del manejo adecuado de las aguas y lodos residuales conlleva a la proliferación de focos infecciosos, riesgo de salud ambiental y deterioro del paisaje de la ciudad, frente a ello se planteó como objetivos: Producir biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno, evaluar los parámetros como temperatura, presión, agitación y tiempo de retención en la producción de biogás, evaluar la carga orgánica, pH y características físico químicas de los lodos de las aguas residuales urbanas para controlar el volumen de producción de biogás, la metodología fue la siguiente: las aguas residuales se muestrean en frascos los cuales fueron limpiados cuidadosamente ante de cada uso, y se sometieron a examen de laboratorio con el propósito de identificar y cuantificar los parámetros y sus características fisicoquímicas, obteniéndose los siguientes

resultados: Tiempo de retención 43 días, a una temperatura promedio de 27.4 °C con una presión 214.5 cm<sup>3</sup> así mismo en la evaluación de la carga orgánica de los lodos de aguas residuales encontrándose promedios de 75.20 ppm de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 0.089 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> N y 2.201 de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> también se encontró una DBO<sub>5</sub> de 319.90 ppm, se han evaluado los parámetros físico químicos encontrándose que el pH promedio óptimo de 8.08, conductividad promedio de 1909.25 μs/cm, Oxígeno disuelto promedio 5.50 ppm, Sólidos totales 1200.25 ppm y una turbiedad promedio de 110.45 NTU. Se ha logrado comprobar que mediante la descomposición anaerobia de los lodos que arrastra la laguna espinar de la ciudad de Puno, que es una medida de solución que se tiene en la laguna, como una alternativa ecológica y energética. El promedio de producción de biogás obtenido fue de 14.88 cm<sup>3</sup> a partir del 5 día hasta los 47 días de fermentación anaeróbica y una producción acumulada 214.5 cm<sup>3</sup> al final de la fermentación, los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas, por la composición química que llevan presentan una buena relación C/N > 20, su valor de desviación estándar indica que en promedio las observaciones individuales se desvían de las medias en 4.84 cm<sup>3</sup>. Así mismo nos indica que el rango fue de 4.84 cm<sup>3</sup> como valor mínimo hasta un rango máximo de 27.48 cm<sup>3</sup> con una varianza de 25.35 respectivamente.

### **LODOS ACTIVOS**

Según Tapara (2014) define que la biodigestión anaeróbica es una alternativa importante para la depuración de la biomasa y su posterior reutilización. Este trabajo de investigación se realizó en el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno- Perú, a 3812 m.s.n.m. en la cual se evaluó el funcionamiento de este proceso en el saneamiento de lodos y plantas acuáticas de la Bahía Interior de Puno- Lago Titicaca para su aplicación como bioabono, además de la obtención de una fuente energética producida por

la generación de biogás. En el mismo se planteó caracterizar los parámetros fisicoquímicos del material experimental y realizar una relación matemática para hallar la formulación óptima en los biodigestores. Para alcanzar los objetivos, se realizó muestreos en cuatro puntos de la Bahía Interior de Puno y se determinó las características fisicoquímicos obteniendo resultados con una coeficiente de variación menor al 5% , donde se observa que el pH varia en un rango de 5,37 a 7,8 siendo los valores de pH más bajos en las plantas y los más altos en los lodos; los sólidos totales y volátiles varían en un rango de 6 a 95 %, teniendo las plantas acuáticas los más altos valores y los lodos los más bajos valores; en relación carbono orgánico total, los que tienen los más altos valores, son la lemna y la totora (74 a 89 %), mientras que los lodos varían en un rango de 13 a 21 %. Posterior al proceso se realizó una relación matemática en la cual el balance se hizo en término de solidos totales, solidos volátiles y de nitrógeno, para encontrar la relación C/N igual a 30. Se construyeron tres biodigestores a nivel de laboratorio, con capacidad de dos litros y un biodigestor a nivel de planta piloto, con capacidad de 180 litros para los tratamientos de la biomasa la cual permaneció con un tiempo de retención de 45 días, a una temperatura de 35°C y un pH 6,55 a 8,09. El volumen de gas metano en el biogás procedente de los biodigestores a nivel de laboratorio fue de 0,052 3 m con una concentración promedio de 75.77 % y a nivel de planta piloto se generó un volumen de 17,39 3 m con una concentración de 71.03%. La capacidad calorífica promedio fue de 3596,633 Kcal/kg del biocombustible sólido. Si bien la biodigestión resultó ser un proceso adecuado para la depuración y reutilización de lodos y plantas acuáticas.

## PROPUESTA

A través del diagnóstico que se encontró en todo el proceso de investigación que se ha desarrollado para la producción de biogás, planteo que es factible el uso y aprovechamiento de los residuos sólidos de la Laguna de oxidación Espinar para la producción de biogás el cual es también una alternativa de solución energética y totalmente ecológica.

Dentro de la investigación se pudo notar también que la propuesta planteada es mejor a las investigaciones hechas por otros autores ya para la producción de biogás se utilizó como herramientas un biorreactor e instrumentos electrónicos lo cual facilito tener datos más exactos y reales porque se trabajó a una temperatura constante de 35 °C.

Así mismo la investigación contribuye al cuidado del medio ambiente ya que con la puesta en marcha de este proyecto reducimos los malos olores y la descontaminación del lago Titicaca.

## CONCLUSIONES

### **PRIMERO:**

Se dimensiono un biorreactor, el cálculo del volumen fue de 40.79 L. y la densidad del metano 0.6280 g/L. Acelerando el tiempo de fermentación para la producción de biogás con el nuevo dimensionamiento, mecanizado para el soporte de alta presión y herméticamente sellado.

### **SEGUNDO:**

El promedio del volumen de gas metano obtenido fue de 3,33 L, Con una presión de salida a 14.76 PSI, a una temperatura promedio de 35 °C. Todo el módulo fue totalmente automatizado para controlar los datos en tiempo real.

### **TERCERO:**

Planteo que es factible el uso y aprovechamiento de los residuos sólidos de la Laguna de oxidación Espinar – Puno, para la producción de biogás el cual es también una alternativa de solución energética y totalmente ecológica.

## RECOMENDACIONES

### **PRIMERO:**

Desarrollar una investigación para construir una planta de tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de puno, con un sistema automatizado para la producción de biogás en gran escala.

### **SEGUNDO:**

Proponer planes de trabajo acerca de los residuos sólidos, como una medida de solución a la contaminación que se tiene in situ.

### **TERCERO:**

Sensibilizar a la población referente a estos temas, con el fin de preservar el medio ambiente y a no contaminar el lago Titicaca.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Angelidaki, I., & Ellegaard, L. (2003). codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. italia: appl biochem biotechnol.
- Arce Cabrera, J. J. (2011). Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono apartir de desechos organicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral. Guayaquil - Ecuador.
- Arrieta Palacios , W. J. (2016). Diseño de un biodigestor domestico para el aprovechamiento energetico del estiercol de ganado. Piura.
- Bolivar Fuquene, H. E., & Ramirez Hernandez, E. Y. (2012). Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia organica generada en los frigorificos de bogota. Bogota - colombia.
- Cruz Tutacano, E. G. (2017). Diseño de un bioreactor para generar biogas a partir de desechos organicos de animales en la irrigacion de majes - caylloma. Arequipa - Peru.
- Fuentes , J. (2011). Diseño y aplicacion de biodigestor. Buenos aires - Argentina.
- Gomez Perez, C. A., & Espinosa Oviendo, J. J. (2018). Design method for continuous bioreactors in series with recirculation and productivity optimization. in Chemical Engineering Research and Design 137:544-552 · September 2018 with 48 Reads, [https://www.researchgate.net/publication/326944598\\_Design\\_method\\_for\\_continuos\\_bioreactors\\_in\\_series\\_with\\_recirculation\\_and\\_productivity\\_optimization](https://www.researchgate.net/publication/326944598_Design_method_for_continuos_bioreactors_in_series_with_recirculation_and_productivity_optimization).
- Hanusovsky, O., Biro, D., simko, M., & Galik, B. (2018). the dynamic of the ruminal content pH change and its relationship to milk composition. australia : acta veterinaria brno.

Heriberto Antonio et al. (2018). la presion y la magnitud. mexico: European.

Huanca Ccaza, E. D. (2017). Produccion de biogas a partir de los lodos de aguas residuales urbanas - puno. Puno.

Huanca, C. E. (2017). Produccion de Biogas a Partir de los Lodos de Aguas Residuales Urbanas - Puno. Puno: Repositorio Institucional Una - Puno.

Lagrange, B. (1979). Biomethane. principes, technique, utilisation. frances: Aix-en-provence : Edisud 1979.

Lower, s. (2016). temperature. usa: waning gibbous.

Ministerio del ambiente. (2016). Residuos y areas verdes. Lima - Peru: Ministerio del ambiente.

Mongollon, N. (2009). Laguna de oxidacion. El blog de Natalia Mogollon, <http://nata.mogollon.over-blog.com/article-lagunas-de-oxidacion-39511344.html>.

Ogata, K. (2005). ingenieria de control moderna. españa: Pearson.

Padilla Sevillano, A. w., & Rivero Mendez, J. F. (16 de 09 de 2015). Produccion de Biogas Y Cmpost a Partir de Residuos Organicos Recolectados del Comple Arqueologicos Huanca de la Luna. Ciencias y Tecnologia:. año 12, N 1, 2016,29-43, 43. Recuperado el 23 de 06 de 2019, de <https://www.coursehero.com/file/41270686/1358-3876-1-PBpdf/>

Perez Mendel , J. A. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicacion en pequeños ganaderos y lecheros. Santiago - Chile.

- Perez Porto, J., & Merino, M. (2011). <https://definicion.de/residuo-solido/>. Obtenido de <https://definicion.de/residuo-solido/>.
- Ramos Giraldo, A. T. (2006). Mecanismo de desarrollo limpio estudio de biodigestores. Lima-Peru.
- Reina Herdz, J. (2010). <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/conceptos-basicos-del-biogas-y-sus-tecnologias-para-la-limpieza-y-acondicionamiento-en-la-edar>. Obtenido de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/conceptos-basicos-del-biogas-y-sus-tecnologias-para-la-limpieza-y-acondicionamiento-en-la-edar>.
- Reyes Aguilera , E. A. (2017). Generacion de biogas mediante el proceso de digestion anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos organicos. Revista cientifica de FAREM-Esteli, Medio ambiente, tecnologia y desarrollo humano.
- Rittmann, B. E., & Mccarty, P. I. (2011). Environmental Biotechnology. New York San Francisco: Mc Granw Hill .
- SOMACHINE CENTAL, .. (2017). Somachine manual de formacion. USA: schneider electric.
- SOMACHINE-CENTRAL, .. (2017). Schneider electric automation gmbh. Japon: Schneider Electric.
- Tapara Colque, B. M. (2014). obtencion de biocombustible gaseoso y solido a partir de plantas acuaticas y lodos sedimentados de la bahia interna puno - lago titcaca. puno: repositorio institucional UNA - PUNO.

Tapara, B. M. (2014). Obtencion de Biocombustible Gaseoso y Solido a Partir de Plantas Acuaticas y Lodos Sedimentados de la Bahia Interna Puno - Lago Titicaca. Puno: Repositorio Institucional Una Puno.

Tapia, A. (2005). <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4505/que-es-el-biogas>. Obtenido de <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4505/que-es-el-biogas>.

TECSUP. (2014). Instrumentaciones y control industrial. peru: programa de alta especializacion profesional.

Tello Espinaza, P., & Martinez Arce, E. (2011). Informe de la evaluacion regional del manejo de residuos solidos urbanos en america latina y el caribe 2010. organizacion panamericana de la salud, [https://www.google.com/search?q=La+gesti%C3%B3n+de+los+residuos+s%C3%B3lidos+municipales+\(RSU\)+es+uno+de+los+mayores+desaf%C3%ADos+a+los+que+se+enfrentan+actualmente+los+pa%C3%ADses+en+desarrollo&rlz=1C1RLNS\\_esPE738PE740&oq=La+gesti%C3%B3n+de+los+residuos](https://www.google.com/search?q=La+gesti%C3%B3n+de+los+residuos+s%C3%B3lidos+municipales+(RSU)+es+uno+de+los+mayores+desaf%C3%ADos+a+los+que+se+enfrentan+actualmente+los+pa%C3%ADses+en+desarrollo&rlz=1C1RLNS_esPE738PE740&oq=La+gesti%C3%B3n+de+los+residuos).

Volta, A. (2017). Conoce las propiedades y utilidades del metano, el gas natural. españa: ok diario.

**ANEXOS****Anexo A:** Fotografía del estado actual de la laguna espinar – Puno.**Anexo B:** fotografía de otro punto de muestreo.



**Anexo C:** Fotografía de la toma de muestreo de residuos sólidos en la laguna de espinar



**Anexo D:** Fotografía de instalación del módulo de control.



**Anexo E:** Fotografía del sellado de la tapa del biorreactor.



**Anexo F:** Fotografía del mezclado de los residuos solidos





**Anexo G:** Fotografía del llenado de residuos sólidos al biorreactor



**Anexo H:** Fotografía de todo el módulo en funcionamiento

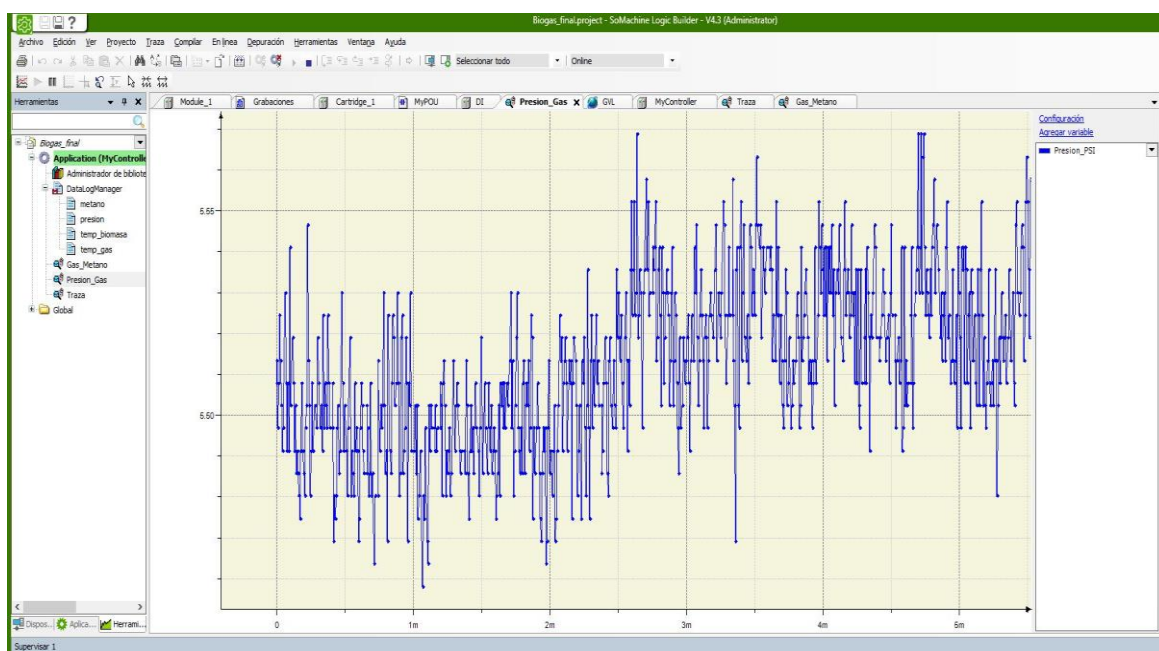




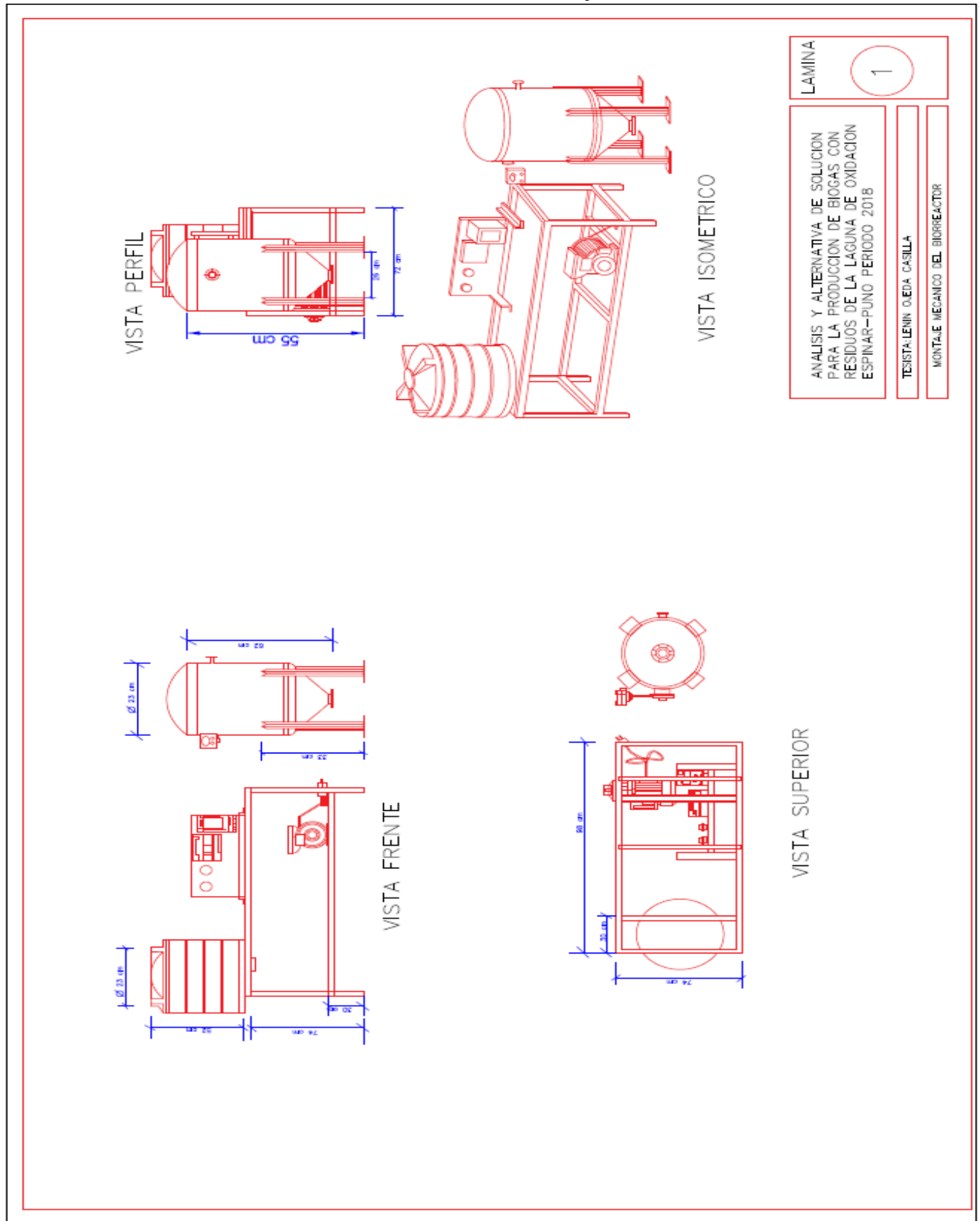
**Anexo I:** fotografía para corroborar la producción de gas metano, se hizo la prueba



**Anexo J:** fotografía en tiempo real del comportamiento de la presión

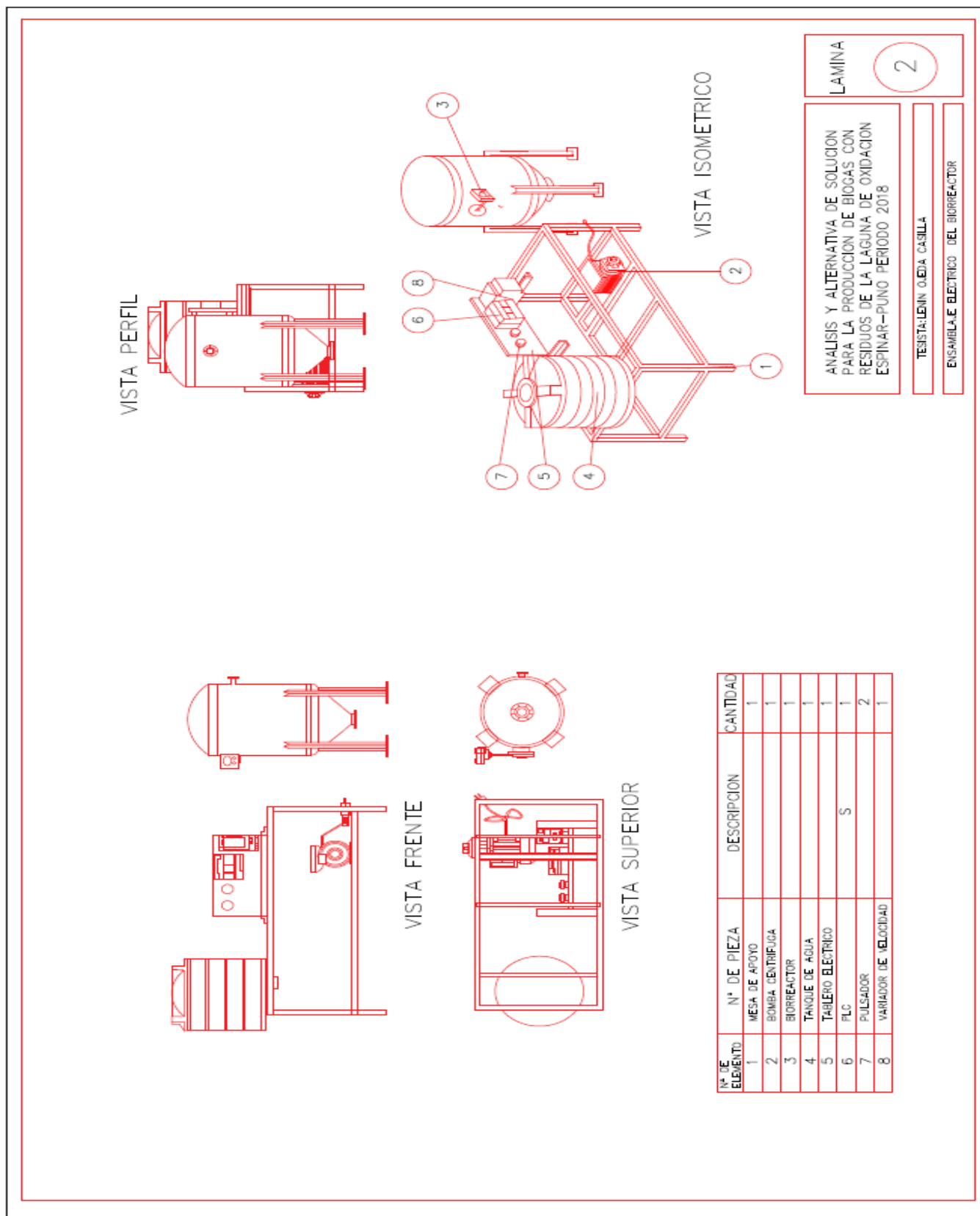


Anexo K: Plano de montaje mecánico



LAMINA	1
ANALISIS Y ALTERNATIVA DE SOLUCION PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS CON RESIDUOS DE LA LAGUNA DE OXIDACION ESPINAR-PUNO PERIODO 2018	
TESISTA: LENIN OVEDA CASILLA	
MONTAÑE MECANICO DEL BIORREACTOR	

Anexo L: Plano de ensamble eléctrico



Anexo N: plano de detalle general

