

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y

SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE
BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETAS DE CUY MONITOREADO
CON UN CONTROLADOR INDUSTRIAL EN LA
CIUDAD DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

**ELVIS SAUL CALISAYA CALISAYA
JUAN JOSE PHOCCO ESPETIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2018

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

DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETAS DE CUY MONITOREADO CON UN CONTROLADOR INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO.

TESIS PRESENTADA POR:

ELVIS SAUL CALISAYA CALISAYA

JUAN JOSE PHOCCO ESPETIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Fecha de Sustentación: 20-12-2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE : _____
 M.Sc. WALTER OSWALDO PAREDES PAREJA

PRIMER MIEMBRO : _____
 Ing. LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ

SEGUNDO MIEMBRO : _____
 M.Sc. JHIMMY ALBERTH QUISOCALA HERRERA

DIRECTOR / ASESOR : _____
 M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

Área : Energías Renovables.

Tema : Energía Biomasa.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Zacarías Eleuterio e Irma ya que con su incondicional amor y ejemplos dignos de superación y entrega, dentro de mi formación académica, así como integral, han logrado que este esfuerzo se culmine con éxito. Por su apoyo total apoyo en los momentos más difíciles de mi carrera profesional, puesto que siempre me han ayudado a enfrentar con valentía cada obstáculo presentado.

Elvis Saúl Calisaya Calisaya

Este proyecto de tesis va dedicado en primer lugar a Dios, por haber permitido que concretemos esta meta, a mi querida hija Maria Margoth , a mi madre que desde el cielo siempre vela por nuestro bienestar y nos dan siempre su apoyo incondicional, a los Ingenieros de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, ya que ellos asentaron las bases de nuestro desarrollo profesional.

Juan José Phocco Espetia

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su constante apoyo y aliento incondicional hizo que pudiera continuar con mi educación personal y profesional.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, quienes fueron los pilares en la formación de mi vida profesional y ser personas útiles para la sociedad, a mis jurados, director de tesis y al Ingeniero Elmer Rodrigo, por guiarme y apoyarme en la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos, por compartir y disfrutar momentos inolvidables, recuerdos universitarios.

Elvis Saúl Calisaya Calisaya

A Dios por darme el preciado don de la vida y por qué ha estado conmigo a cada paso que doy, protegiéndome y dándome sabiduría y fortaleza para continuar.

A mis padres por estar junto a mí en cada momento, siempre dándome su apoyo incondicional y siendo mí pilar fundamental para llegar a completar cada una de mis metas.

A cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica que supieron guiarme en mi formación académica como profesional.

Juan José Phocco Espetia

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general	5
Índice De Tablas	8
Índice De Figuras	9
Índice De Acrónimos	11
Resumen.....	12
Abstract.....	13
CAPÍTULO I	14
1.1 Introducción.....	14
1.2 Planteamiento del problema.....	16
1.2.1 Descripción del problema	16
1.2.2 Formulación del problema	16
1.3 Justificación.....	17
1.3.1 Justificación técnica.....	17
1.3.2 Justificación científica.....	17
1.3.3 Justificación económica.....	17
1.3.4 Justificación social.....	17
1.4 Objetivos	17
1.4.1 Objetivo general	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 Hipótesis.....	18
1.5.1 Hipótesis general.....	18
1.5.2 Hipótesis específicas	18
CAPÍTULO II	19
REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Marco referencial.....	24
2.2.1 Energías renovables.....	24
2.2.2 Biorreactor	25
2.2.2.1. Tipo de biorreactores.	26
2.2.2.2. Biomasa	29
2.2.2.3. Biogás.	30
2.2.2.4. Estiércol	31

2.2.2.5. Estiércol de cuy	32
2.2.3 PH, presión y temperatura.....	33
2.2.3.1. PH.....	33
2.2.3.2. Presión.....	34
2.2.3.3. Temperatura	35
2.2.4 Controladores de proceso de biogás.....	36
2.2.4.1. Controlador lógico programable (plc).....	36
2.2.4.2. Variador de frecuencia.....	38
2.2.4.3. Sensor de temperatura pt - 100.....	38
2.2.4.4. Sensor de presión analógico	39
2.2.4.5. Medidor de ph.....	40
2.2.5 Sistema de control del proceso de biogás.....	41
2.2.5.1. Variable controlada y variable manipulada	41
CAPÍTULO III	44
MATERIALES Y METODOS.....	44
3.1 Contenido y desarrollo.....	44
3.2 Característica de la zona.....	44
3.2.1 Ámbito de estudio.....	44
3.2.2 Ubicación geográfica	44
3.2.3 Características climatológicas de la zona.....	44
3.3 Muestra y población	45
3.4 Procedimiento inicial del proceso	45
3.4.1 Información básica	46
3.5 Determinación de la producción de biogás.....	47
3.5.1 Método de distribución	47
3.6 Diseño del sistema de producción de biogás	48
3.6.1 Diseño del biorreactor	48
3.6.2 Diseño del sistema de control	48
3.6.2.1. Controlador lógico programable (plc) zelio	48
3.6.2.2. Ventajas del sensor de temperatura pt – 100	50
3.6.2.3. Variador de frecuencia.....	51
3.6.2.4. Electrobomba centrífuga trifásica	51
3.6.2.5. Dimensionamiento del espiral de cu	51
3.6.2.6. Sistema de mando y señalización pulsadores selectores.....	52
3.6.2.7. Relé rápido con entrada tensión transitoria	52

3.6.2.8.	Estructura del borne	53
3.6.2.9.	Cuerpo.....	54
CAPÍTULO IV.....		55
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		55
4.1	Diseño del sistema de producción de biogás	55
4.1.1	Diseño del biorreactor	55
4.1.2	Diseño del sistema de control	55
4.1.2.1.	Controlador lógico programable (plc) zelio	55
4.1.2.2.	Sensor de temperatura analógico pt-100.....	56
4.1.2.3.	Variador de frecuencia.....	57
4.1.2.4.	Electrobomba centrífuga trifásica.	57
4.1.2.5.	Dimensionamiento del espiral de cu	58
4.1.2.6.	Sistema de mando y señalización pulsadores selectores.....	59
4.2	Variables del biogás	62
4.2.1	Utilizando el software spss stadistic	65
4.2.2	Variables de la presión del biogás.....	68
4.2.1	Variables de la temperatura del biogás	69
4.3	Discusión de resultados	70
4.3.1	Producción de biogás	70
Conclusiones		72
Recomendaciones		73
Referencia Bibliográfica		74
Anexos.....		76
Anexo A: Costos y presupuestos.		76
Anexo B: Sellando la tapa del biorreactor.....		77
Anexo C: Monitoreando la presión y temperatura del biorreactor.		77
Anexo D: Instalando los sensores de temperatura y sensor de presión.		78
Anexo E: Mezclando las excretas de cuy.....		78
Anexo F: Tanque de suministro de agua.		79
Anexo G: Datos monitoreados del biorreactor.		79
Anexo H: Serpentín incorporado dentro del biorreactor.		80
Anexo I: Módulo de control de temperatura y presión.....		80
Anexo J: Planos de montaje mecanico		81
Anexo K: Plano de ensamble electrico.....		82
Anexo L: Plano de detalle general		83

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2. 1. Equipos utilizados en el proceso de investigación.	46
Tabla 4. 1. De mando y pulsadores selectores y pilotos.	59
Tabla 4. 2. Funciones estadísticas a utilizar.	62
Tabla 4. 3. Frecuencia en función a la presión.....	63
Tabla 4. 4. DAN de Presión en el Biogás.....	64
Tabla 4. 5. Datos presión y temperatura	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2. 1. Estructura de un Birreactor.	26
Figura 2. 2. Ciclo de Biomasa.	30
Figura 2. 3. Ciclo del Biogás.	31
Figura 2. 4. Estiércol de cuy.....	32
Figura 2. 5. Caracterización del PH.	34
Figura 2. 6. Presión Superficial.	35
Figura 2. 7. Termómetro en escala Fahrenheit y Grados Celsius.	36
Figura 2. 8. Controlador Lógico Programable (PLC) Zelio.	37
Figura 2. 9. Variador de Frecuencia.....	38
Figura 2. 10. Colectores Planos.	39
Figura 2. 11. Sensor de Presión analógico.	40
Figura 2. 12. Medidor de PH.	40
Figura 2. 13 Modelado de Procesos.	41
Figura 2. 14. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	42
Figura 2. 15. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	42
Figura 2. 16. Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	43
Figura 2. 17. Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	43
Figura 3. 1Temperatura anual de Juliaca, Estación Juliaca.	45
Figura 3. 2. Distribución Simétrica y Asimétrica Negativa – Positiva.	47
Figura 3. 3. Gráfica del pt100.....	50
Figura 3. 4. Características del relé.	53
Figura 3. 5. Riel tipo DIN.....	54
Figura 4. 1. Controlador Lógico programable, Modicon TM241.	56
Figura 4. 2. Sonda de Temperatura PT-100.	56
Figura 4. 3. Variador de Frecuencia.....	57
Figura 4. 4. Electrobomba Centrífuga Trifásica.....	58
Figura 4. 5. Tubería de Cu de forma espiral.....	58
Figura 4. 6. Sistema de mando y pulsadores.....	59
Figura 4. 7. Diagrama del sistema del Biorreactor	61
Figura 4. 8. Frecuencia de datos de presión durante un mes.	63
Figura 4. 9. Aproximación por distribución Asimétrica Negativa y Polinómica. 65	65
Figura 4. 10. Análisis estadístico, SPSS.....	66

Figura 4. 11. Prueba de Komogorov-Smirnov.....	66
Figura 4. 12. Prueba de Asimetría Negativa o Positiva.....	67
Figura 4. 13. Histograma de frecuencia.....	68
Figura 4. 14. Presión de producción de biogás natural.....	69
Figura 4. 15. Temperatura de producción de biogás natural.....	70
Figura 4. 16. Temperatura de producción de biogás natural.....	70
Figura 4. 17. Acumulación de biogás en m3.....	71

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- PLC : Controlador Lógico Programable.
- PSI : Unidad de presión de sistema anglosajon.
- PT : Termómetro.
- pH : Coeficiente que indica el grado de acides.
- BMP : Potencial de metano bioquímico.
- H₂O : Agua.
- BGR : Variedad de residuos de biogás.
- SOM : Materia orgánica del suelo.
- OM : Materia orgánica.
- FOM : Materia orgánica fresca.
- RSU : Residuos sólidos municipales.
- CO₂ : Dióxido de carbono.
- VFD : Variador de frecuencia.
- AC : Corriente alterna.
- VVVF : Variador de voltaje variador de frecuencia.
- RTD : Detector de temperatura por resistencia.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es diseñar un biorreactor para obtener biogás a partir de las excretas de cuy en la ciudad de Puno; donde se diseñó un biorreactor de $0,120m^3$ con un intercambiador de calor en forma de serpentín para mantener la temperatura a $35^{\circ}C$, manteniendo un proceso de fermentación óptima, el cual se implementó con instrumentos de medición industrial de Temperatura = $35^{\circ}C$ y Presión = 14 psi Además de la medición del pH del lixiviado de la materia orgánica. Todo esto fue monitoreado en tiempo real con un Controlador Lógico Programable (PLC) de Zelio. Para procesar esta información se utilizó la metodología de distribución donde se obtuvo biogás a una presión de 14 PSI durante un mes aproximadamente en la ciudad de Puno.

Palabras Claves: Biorreactor, biogás, biomasa, estiércol de cuy y energías renovables.

ABSTRACT

The objective of this research work is to design a bioreactor to obtain biogas from guinea pig excreta in the city of Puno; where a bioreactor of $0,120\text{m}^3$ was designed with a heat exchanger in the form of a coil to maintain the temperature at $35\text{ }^\circ\text{C}$, maintaining an optimal fermentation process, in which it was implemented with industrial measuring instruments of Temperature = 35°C and Pressure = 14 psi . In addition to the pH measurement of the leachate of organic matter. All this was monitored in real time with a Programmable Logic Controller (PLC) from Zelio. To process this information, the distribution methodology was used, where biogas was obtained at a pressure of 14 psi during a month approximately in the city of Puno.

Keywords: Biorreactor, biogas, biomass, guinea pig manure and renewable energies.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación refiere al tema del diseño del biorreactor para la obtención del biogás a partir de excretas de cuy monitoreado con un controlador industrial en la ciudad de Puno. En donde se diseñó un biorreactor experimental de forma cilíndrica, el cual consta de una tubería de Cu en forma de espiral para mantener el calor a una temperatura de 35°C y producir biogás, además de la instalación de un sensor de temperatura (PT – 100) y un sensor de presión industrial enlazados directamente a un Controlador Lógico Programable (PLC) para el procesamiento de la señal, su monitorización en tiempo real y la adquisición de datos.

La producción de biogás se dio aproximadamente luego de 22 días llegando a una presión óptima de 14 PSI y una temperatura de 35 °C promedio.

En él capítulo I: En la primera parte del proyecto de tesis damos a conocer los antecedentes, objetivos, hipótesis y la justificación.

En él capítulo II: En la segunda parte corresponde al marco teórico en donde se ve la tecnología de biogás se usa ampliamente como una mejor alternativa en el manejo de residuos en muchas sociedades del mundo. Este estudio se realizó para investigar el efecto del contenido de rumen a la proporción de agua en la producción de biogás, así mismo se aprecia el marco referencial conteniendo este sobre energías renovables, biorreactor y biomasa.

En el capítulo III: Se da a conocer el planteamiento metodológico, los materiales e instrumentos utilizados para la presente tesis, también el lugar donde se realizó la investigación.

En el capítulo IV: En este capítulo presentaremos los resultados del análisis de los datos obtenidos en nuestra experimentación, en donde dichos resultados mostraran la mejora general que se obtuvo en el nuevo diseño del biorreactor.

Se realiza el desarrollo de la instalación en forma práctica donde se han tomado los datos respectivos que finalmente servirán para el análisis de los diferentes componentes del nuevo diseño.

Finalmente 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

La generación de energía sin contaminar el medio ambiente en la actualidad es un problema por el efecto invernadero que se incrementa a nivel mundial; por ello la producción de gas licuado de petróleo y gas natural es costoso y perjudicial al medio ambiente, viéndose en la necesidad de producir biogás a partir de materia orgánica en especial de desechos sólidos por excretas de cuy que son muy abundantes en los criaderos de cuy evitando la acumulación de desechos sólidos para la producción de energía del biogás de forma natural y económica en la ciudad de Puno.

1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida el diseño de un biorreactor tiene relación con la producción de biogás a partir de excretas de cuy en la ciudad de Puno?

1.2.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

- a. ¿Cuál es la relación del diseño de un biorreactor con la producción de biogás?
- b. ¿En qué medida la obtención de biogás se relaciona con las excretas de cuy en la ciudad de Puno?
- c. ¿Cómo se relaciona la producción de biogás con la evaluación de la presión, temperatura y pH del biorreactor en la ciudad de Puno?

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

En el diseño y construcción se usará un controlador e instrumentación industrial para monitorear las variables físicas y la producción de biogás.

1.3.2 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA

Se construirá un módulo para la obtención y evaluación de biogás, experimental-aplicada.

1.3.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El biogás resulta ser una fuente energética de bajo costo para cocinar o calentar agua supliendo así las necesidades básicas del sector residencial, comercial e industrial.

1.3.4 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Es una tecnología que podrá ser utilizada en la sociedad por tener un costo bajo y usa insumos orgánicos (material reciclado).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la optimización de biogás a partir de excretas de cuy, con el nuevo diseño del biorreactor.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Análisis de la producción de biogás a partir de excretas de cuy, mediante el nuevo diseño de un biorreactor en la ciudad de Puno.

b) Comparar la producción de biogás respecto a excretas de cuy y otros residuos orgánicos.

c) Evaluar y monitorear los parámetros en el proceso de producción de biogás. Se usará un controlador industrial en la ciudad de Puno.

1.5 HIPÓTESIS

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

Se logrará optimizar el proceso de fermentación de la materia orgánica, para la obtención de biogás de excretas de cuy, diseñando un biorreactor de $0,120m^3$, incorporando un intercambiador de calor para la aceleración de la producción de metano.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

a) La producción de biogás a partir de excretas de cuy, mediante el nuevo sistema, de un biorreactor con un intercambiador de calor, acelerará la producción de metano bajo las condiciones climáticas de la ciudad de Puno.

b) Manteniendo una temperatura constante de $35^{\circ}C$, utilizando un intercambiador de calor para dicho proceso, disminuirá el tiempo de fermentación, obteniendo mayor producción de biogás en la ciudad de Puno.

c) En la producción de biogás; se logrará controlar los parámetros físicos de temperatura y presión del biogás y el pH del biol de la materia orgánica monitoreado con un controlador industrial en la ciudad de Puno.

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERARIA

2.1 ANTECEDENTES

La tecnología de biogás se usa ampliamente como una mejor alternativa en el manejo de residuos en muchas sociedades del mundo. Este estudio se realizó para investigar el efecto del contenido de rumen a la proporción de agua en la producción de biogás. Se llevó a cabo un experimento utilizando un digestor anaeróbico de capacidad local de 75 litros. Los contenidos de rumen se formularon en tres proporciones designadas como T1, T2 y T3. T1 contenía 30 kg de contenido de rumen y 30 litros de agua del grifo; T2 contenía 20 kg de contenido de rumen y 40 litros de agua del grifo; y T3 contenía 40 kg de contenido de rumen y 20 litros de agua del grifo. Cada proporción se duplicó y todo el experimento se triplicó durante 20 días cada uno. El pH, el sustrato, la temperatura ambiente y el biogás producido se registraron en intervalos de dos días hasta los 20 días. El resultado obtenido del estudio mostró que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en el pH promedio y el biogás producido. El pH de T2 (6.97) fue significativamente más alto que el de T1 (6.80) y T3 (6.81). El biogás producido por T3 fue significativamente mayor que el de T1 y T2. T3 produjo el mayor volumen promedio de 16.70 m³ de biogás por kilogramo de contenido de rumen y el porcentaje más alto (56.4%) de metano (Annor, Adzitey, Ansah, & Ampadu, 2018).

En la investigación titulada: Biogás originado a partir de biomasa residual en servicios eco sistémicos; la demanda humana de los servicios de aprovisionamiento del ecosistema ha aumentado y muestra la existencia de

compensaciones en su generación. Brasil es un gran productor de productos agrícolas y proteínas animales, que genera una gran cantidad de biomasa residual en todo el proceso de producción, especialmente residuos animales altamente contaminantes concentrados en áreas pequeñas. Los ecosistemas brindan una amplia gama de servicios que son de importancia fundamental para el bienestar, la salud, la subsistencia y la supervivencia de los seres humanos. Los impactos de los desechos generados por animales confinados pueden degradar el ecosistema y reducir los servicios que pueden suministrar. El uso de residuos para generar biogás no requiere recursos directos de los ecosistemas para generar energía (Backes Bühring & Pires Silveira, 2018).

Los proyectos de biogás se están expandiendo rápidamente en China, pero no hay suficientes tierras de cultivo para degradar estos residuos de biogás. El cultivo de hongos se ha utilizado para degradar diversos desechos agrícolas. En este estudio, para evaluar la viabilidad de utilizar residuos de biogás como sustratos potenciales para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, se utilizaron siete concentraciones diferentes (0 a 60%) de residuos de biogás mezclados con cáscara de algodón, salvado de trigo y cal para cultivar *P. ostreatus*. Se analizaron la tasa de crecimiento del micelio, el tiempo de colonización del micelio, el rendimiento, la eficiencia biológica, las composiciones químicas y el contenido de cuatro metales pesados, Cd (cadmio), Pb (plomo), Hg (mercurio) y As (arsénico). Los resultados mostraron que del 10 al 30% de los residuos de biogás mezclados en los sustratos indujeron el crecimiento de micelio de *P. ostreatus* más rápido que los otros (Jun-Liang et al., 2018).

Este estudio evaluó el potencial de generación de biogás de la fracción orgánica fresca de desechos sólidos municipales (OFMSW) inoculados con estiércol de porcino y estiércol de ganado, según el contenido de sólidos volátiles obtenidos de las pruebas de potencial de metano bioquímico (BMP). Varios parámetros fisicoquímicos (por ejemplo, sólidos volátiles, pH y demanda química de oxígeno) se evaluaron en el laboratorio antes y después de los 50 días de incubación de varias muestras de OFMSW, estiércol porcino y estiércol de ganado, y mezclas de los mismos. Durante la incubación, las reducciones en el porcentaje de sólidos volátiles fueron relativamente bajas (del 5,5% al 11,4%), lo que indica la existencia de sustratos que pueden degradarse después del período de digestión de 50 días. Entre los parámetros fisicoquímicos evaluados, el pH fue un parámetro limitante para la digestión anaerobia de OFMSW y estiércol. La mezcla que muestra el mejor rendimiento en términos de volumen de biogás generado contenía 1 gvs OFMSW: 1 gvs de estiércol porcino, lo que llevó a la producción de 60.4 mL.gVS-1 o 22 mL.gOFMSW-1 de biogás (Los Barbosa, Cabral, Capanema, & Schirmer, 2018).

Los residuos de biogás y el compuesto de cenizas volantes de carbón (CFA / BRC) se investigaron por primera vez como nuevos catalizadores heterogéneos para fortalecer el electro-Fenton (EF) de aguas residuales de gasificación de gas británico / gas de Lurgi. El CFA / BRC preparado se caracterizó por diferentes técnicas, es decir, SEM, XRD, área de superficie BET, XRF e ICP-AES. Los resultados indicaron que CFA / BRC mejoró significativamente el rendimiento de la eliminación de contaminantes en EF en un amplio rango de pH con una densidad de corriente de 10 mA / cm² y una

dosis de catalizador de 1.0 g / L, y el agua residual tratada fue más biodegradable que el EF homogéneo. Mientras tanto, CFA / BRC mostró una estabilidad superior en sucesivas ejecuciones de 2400 min, y las concentraciones de metales pesados lixiviadas fueron muy bajas sin el segundo contaminante. El cambio de las concentraciones de oxígeno disuelto y de H₂O₂ generada por electricidad y la prueba de fluorescencia indicaron que el nuevo catalizador podría aumentar la descomposición de H₂O₂ en más radical hidroxilo, lo que se consideró el principal responsable de la eliminación de contaminantes. Y los resultados ofrecieron nuevos conocimientos sobre el uso sostenible de los materiales de desecho (Lifeng, Shengdao, Haifeng, Jianbo, & Chengran, 2018).

Una variedad de residuos de biogás (BGR) se han utilizado como fertilizante orgánico en la agricultura. El uso de estos residuos afecta el almacenamiento de materia orgánica del suelo (SOM). En la mayoría de los casos, los cambios de SOM solo se pueden determinar en observaciones a largo plazo. Por lo tanto, el modelado predictivo puede ser una alternativa eficiente, siempre que los parámetros requeridos por el modelo sean conocidos por los BGR considerados. Este estudio se realizó como un primer enfoque para estimar los parámetros de rotación de materia orgánica (OM) de los BGR para el modelado de procesos. Utilizamos datos de mineralización de carbono de seis BGR de un experimento de incubación, que representan un rango de entradas de sustrato, para calcular un coeficiente de rotación k que controla la velocidad de la descomposición de la materia orgánica fresca (FOM) y un coeficiente de síntesis η que describe la creación de SOM a partir de FOM. Se aplicó un modelo de rotación de SOM en modo inverso para identificar ambos

parámetros. En un segundo paso, relacionamos los parámetros k y η con las propiedades químicas de los BGR correspondientes mediante un modelo de regresión lineal y los aplicamos a una simulación de escenario a largo plazo (Prays, Dominik, Sängler, & Franko, 2018).

Las plantas agrícolas de biogás en Poland, son una fuente importante de energía, donde se pueden usar los sustratos de cultivos agrícolas. Sin embargo, estas plantas necesitan una aportación diaria de biomasa en cantidades de hasta varias docenas de toneladas. Hace unos años, el sustrato más importante utilizado para la producción de biogás era el ensilaje de maíz. Sin embargo, actualmente, existe una tendencia a limitar el uso del sustrato mencionado anteriormente. Esto se debe principalmente al alto costo del sustrato y al conflicto sobre el uso racional de suelos valiosos para la producción de biomasa con fines energéticos. En el documento, el autor emprendió los intentos de discutir la posibilidad de limitar el uso de materias primas vegetales para la producción de energía, reemplazándolas con desechos de la producción agroalimentaria (Czekała, 2018).

La gestión de los residuos sólidos municipales (RSU) es uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan actualmente los países en desarrollo. A pesar de que se dispone de varias alternativas amigables con el medio ambiente, en Chile el 90% de los RSU se eliminan en vertederos, que producen grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) por la digestión anaeróbica no controlada de su fracción orgánica. Además, la forma en que se recolectan y transportan los RSU aumenta el impacto negativo para el medio ambiente, especialmente cuando la clasificación de desechos no se realiza correctamente en el punto de generación. Por otro lado, el uso del biogás

resultante, en una forma descentralizada fuera de la red, en el punto de generación, podría recompensar directamente a los productores de residuos con ahorro económico. Esta estrategia reforzará la motivación de la población y se puede esperar una reducción importante de las emisiones de GEI. Por lo tanto, este documento explora el potencial de biogás de los desechos de alimentos mediante el uso de reactores sin dispositivos de calentamiento y agitación, con el objetivo de evaluar la energía mínima esperada y el ahorro de CO₂, eq. Sobre la base de pruebas de laboratorio en modo discontinuo y semicontinuo y datos históricos chilenos, se concluye que se pueden evitar más de 1,704 Gg de CO₂ al año y que los hogares chilenos pueden ahorrar un promedio de 425 GWh de energía primaria (Muñoz, Muñoz, Cordero, Bibire, & Morales, 2018).

En el ámbito local de la ciudad de Puno, se conoce muy poco sobre la energía de biomasa, sobre la producción de biogás a partir de excretas de cuy, porque es muy abundante en los criaderos de cuy en la región.

2.2 MARCO REFERENCIAL

2.2.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Se denomina Energía Renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales.

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.

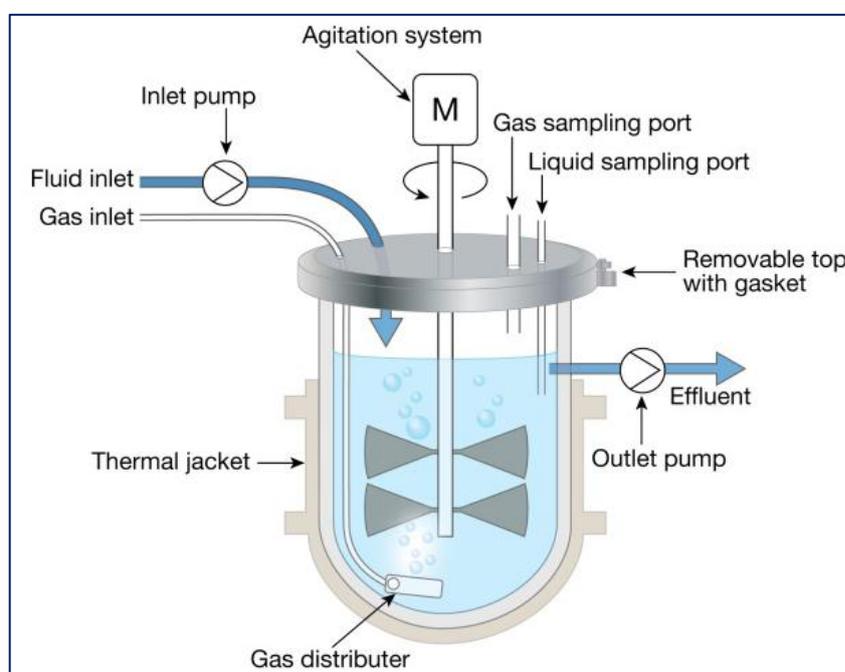
Las fuentes renovables de energía se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta. Son aquellas que se regeneran y son tan abundantes que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no; además, usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente. La electricidad, calefacción o refrigeración 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 CO₂. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales.

2.2.2 BIORREACTOR

Un 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 (Gómez-Pérez & Espinosa, 2018).

Figura 2. 1. Estructura de un Birreactor.



Fuente: (Gómez-Pérez & Espinosa, 2018).

2.2.2.1. TIPO DE BIORREACTORES.

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:

- a) **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.
- b) **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.
- c) **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.

2.2.2.2. BIOMASA

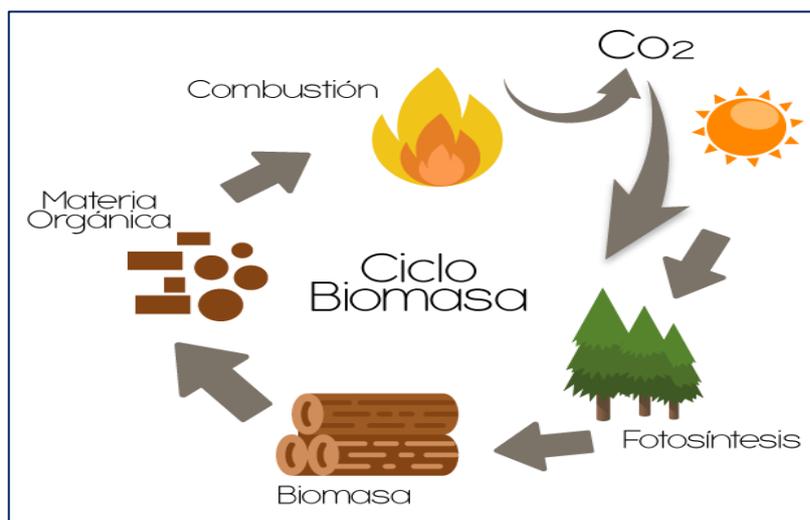
La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica (He et al., 2018).

Desde tiempos remotos el hombre ha utilizado la biomasa como fuente energética para realizar sus tareas cotidianas. Cuando el uso de combustibles fósiles comenzó a tomar fuerza, la biomasa se vio relegada a un plano inferior, donde su aportación a la producción de energía primaria era insignificante. En la actualidad debido a diversos factores, detallados a continuación, ha habido un resurgimiento de la biomasa como fuente energética.

Los factores responsables de favorecer la biomasa como fuente energética son:

- El encarecimiento del precio del petróleo.
- El aumento de la producción agrícola.
- Necesidad de buscar usos alternativos a la producción agrícola.
- Cambio climático.
- Posibilidad de utilizar los conocimientos científicos y técnicos para optimizar el proceso de obtención de energía.

Figura 2. 2. Ciclo de Biomasa.



Fuente: (He et al., 2018).

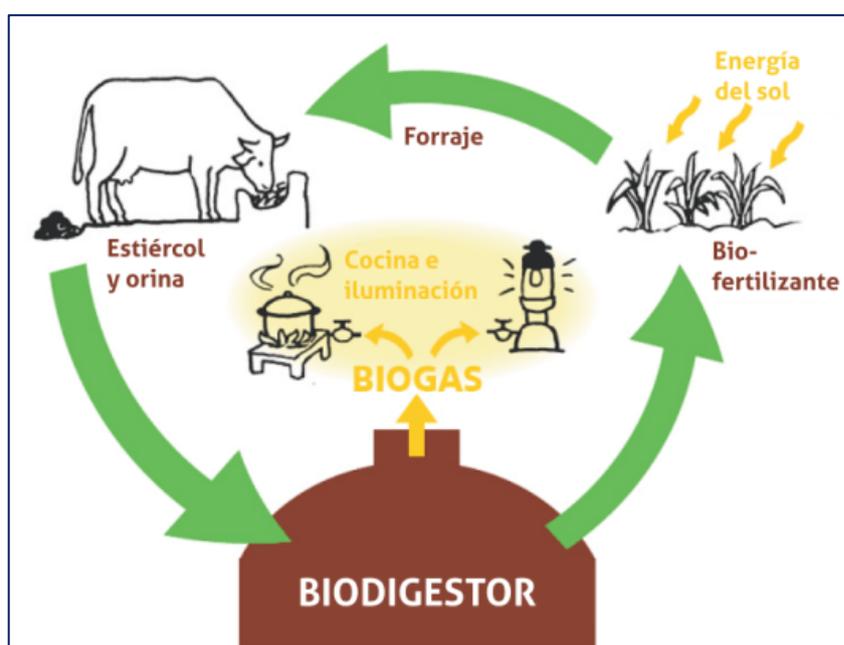
2.2.2.3. BIOGÁS.

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita. La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. El resultado es una mezcla constituida por metano en una proporción que oscila entre un 50% y un 70% en volumen, y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y Ácido sulfhídrico/sulfuro de hidrógeno. El biogás tiene

como promedio un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 mega julio (unidad) por metro cúbico (MJ/m³) (Barnhart, 2013).

Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, en hornos, estufas, secadores, caldera (calefacción u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptados para tal efecto).

Figura 2. 3. Ciclo del Biogás.



Fuente: (Barnhart, 2013).

2.2.2.4. ESTIÉRCOL

Estiércol es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por más de un desecho orgánico, como por ejemplo excrementos de animales y restos de las camas, como sucede con la paja. El lugar donde se vierte o deposita el estiércol es el estercolero.

En agricultura se emplean principalmente los desechos de oveja, de ganado vacuno, de caballo, de gallina (gallinaza). Antaño, también el de paloma (palomina). Actualmente se usa también el de murciélago. El estiércol de cerdo proveniente de granjas o de bovino proveniente de lecherías tiene consistencia líquida y se denomina purín.

Figura 2. 4. Estiércol de cuy.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.5. ESTIÉRCOL DE CUY

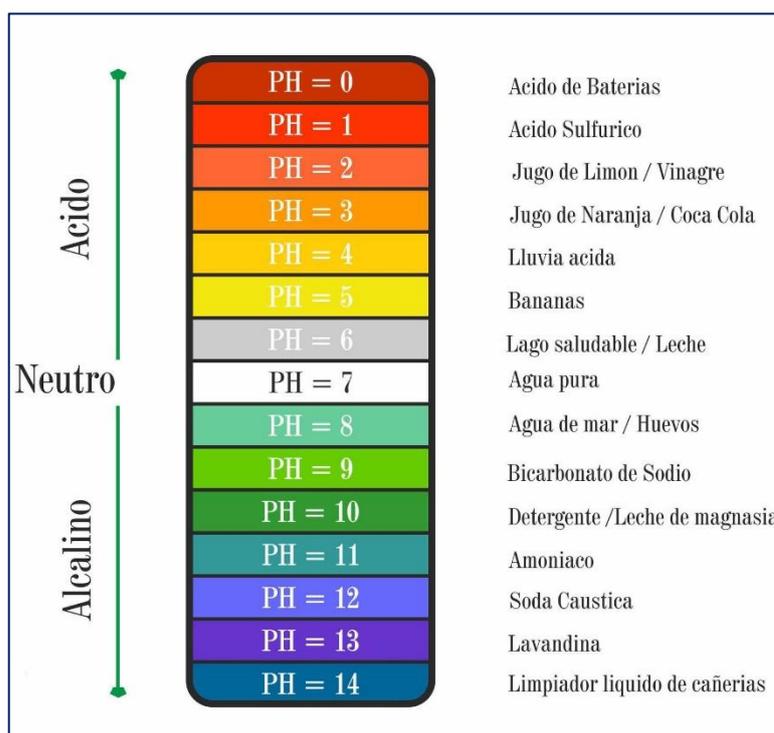
Una cosa interesante que encontramos es que el guano de cuy tiene un poder energético que supera hasta tres veces el guano de vaca y eso es un gran potencial para las familias que crían cuy. Por ejemplo, un biorreactor de 10m³ de capacidad alimentada con guano de vaca, comprobado con investigaciones, produce 1m³ de gas. El guano del cuy produce hasta 3m³ de gas diarios, o sea tres veces más. Eso alcanza por ejemplo para cuatro o cinco horas de uso diario en la cocina, además este se puede ir almacenando.

2.2.3 PH, PRESIÓN Y TEMPERATURA

2.2.3.1. PH

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 acidogénicos 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 determinado componente que tenga influencia en el proceso. Por ejemplo, altos pH favorecen la formación de amoníaco libre, auténtico inhibidor de la fase metanogénica. (Hanušovský et al., 2018).

Figura 2. 5. Caracterización del PH.

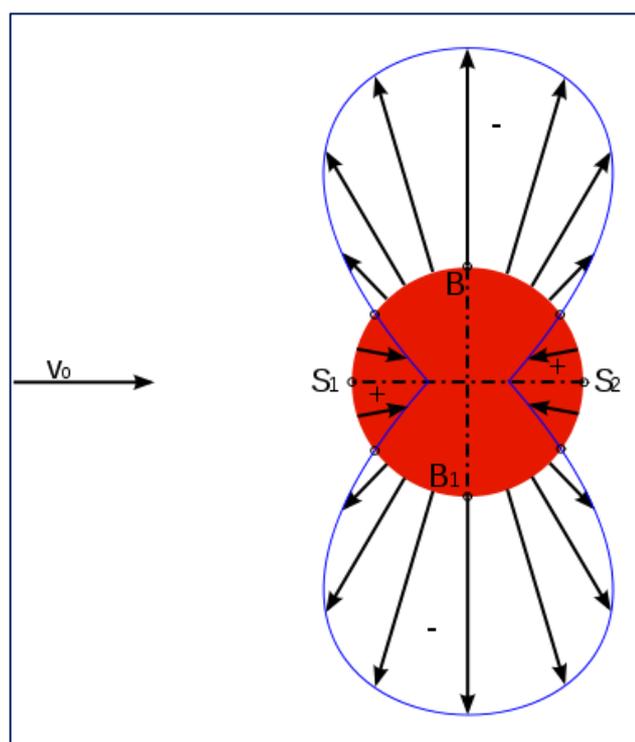


Fuente: (Hanušovský et al., 2018).

2.2.3.2. PRESIÓN

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 (m²). 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 et al., 2018).

Figura 2. 6. Presión Superficial.



Fuente: (Heriberto Antonio et al., 2018).

2.2.3.3. TEMPERATURA

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 (Lower, 2016).

Figura 2. 7. Termómetro en escala Fahrenheit y Grados Celsius.



Fuente: (Lower, 2016).

2.2.4 CONTROLADORES DE PROCESO DE BIOGÁS

2.2.4.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller) o por autómatas programables, es una computadora utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control

de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas (TECSUP, 2014).

Los PLC son utilizados en muchas industrias y máquinas. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías, copia de seguridad o en memorias no volátiles. Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real, donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, de lo contrario no producirá el resultado deseado.

Figura 2. 8. Controlador Lógico Programable (PLC) Zelio.



Fuente: (SOMACHINE-CENTRAL, 2017).

2.2.4.2. VARIADOR DE FRECUENCIA

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA o microdrivers. Dado que la tensión (o voltaje) se hace variar a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia) (SOMACHINE-CENTRAL, 2017).

Figura 2. 9. Variador de Frecuencia.



Fuente: (SOMACHINE-CENTRAL, 2017).

2.2.4.3. SENSOR DE TEMPERATURA PT - 100

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 (TECSUP, 2014).

Figura 2. 10. Colectores Planos.



Fuente: (TECSUP, 2014).

2.2.4.4. 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 2. 11. Sensor de Presión analógico.



Fuente: (TECSUP, 2014).

2.2.4.5. MEDIDOR DE PH

El medidor de pH es un instrumento utilizado para medir la acidez o la alcalinidad de una solución, también llamado de pH. El pH es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es medido en una escala que va de 0 a 14 (TECSUP, 2014).

Figura 2. 12. Medidor de PH.

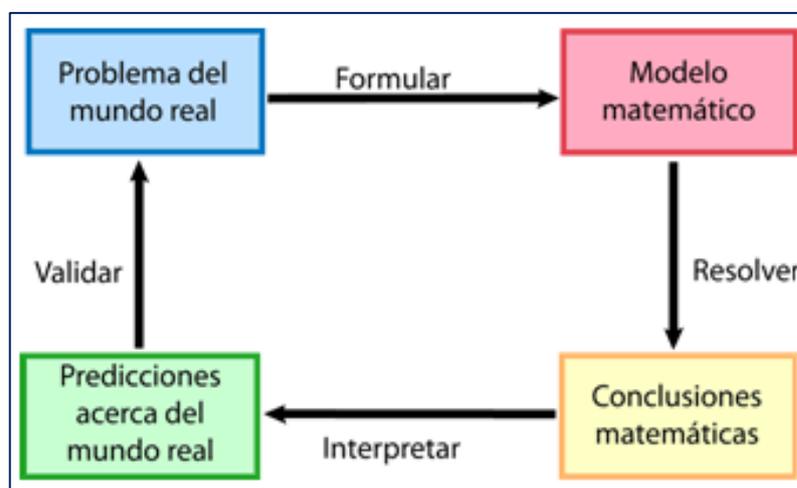


Fuente: (TECSUP, 2014).

2.2.5 SISTEMA DE CONTROL DEL PROCESO DE BIOGÁS

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 (Bolton, 2001).

Figura 2. 13 Modelado de Procesos.



Fuente: (TECSUP, 2014).

2.2.5.1. VARIABLE CONTROLADA Y VARIABLE MANIPULADA

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 (Ogata, 2005).

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.

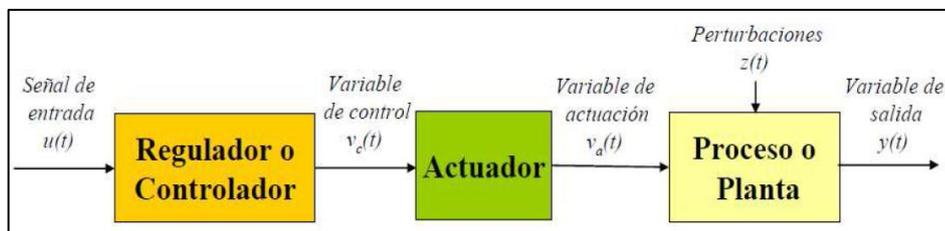
- La salida no tiene efecto sobre el controlador
- No se compara la salida del sistema con la entrada de referencia.
- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.

Figura 2. 14. Sistema de Control de Lazo Abierto.



Fuente: (TECSUP, 2014)

Figura 2. 15. Sistema de Control de Lazo Abierto.

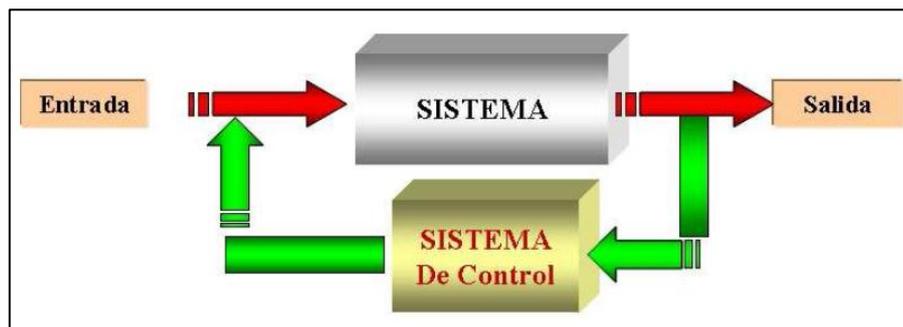


Fuente: (TECSUP, 2014).

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

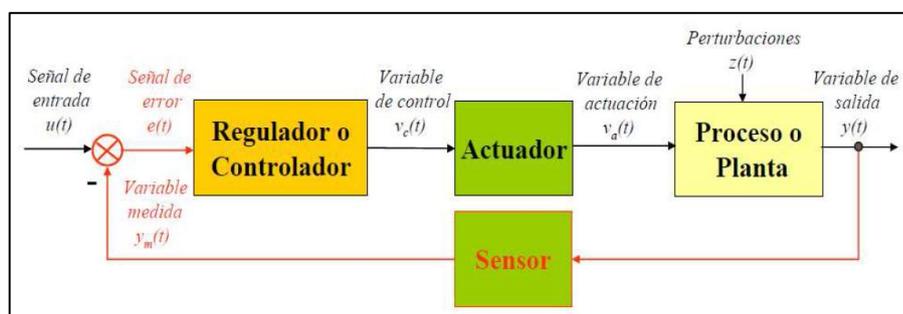
La salida se compara con la entrada de forma que se comprueba en todo momento que la salida es la esperada y si no es así el sistema se corrige. La salida del sistema se mide por medio de un Sensor, y se compara con el valor de la entrada de referencia $u(t)$ (TECSUP, 2014).

Figura 2. 16. Sistema de Control de Lazo Cerrado.



Fuente: (TECSUP, 2014).

Figura 2. 17. Sistema de Control de Lazo Cerrado.



Fuente: (TECSUP, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 CONTENIDO Y DESARROLLO

En este capítulo se va a describir la metodología desarrollada para realizar la tesis de pregrado, especificando los materiales utilizados en cada fase metodológica y justificando su elección.

3.2 CARACTERÍSTICA DE LA ZONA

3.2.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Puno, Provincia de Puno, Departamento de Puno en el año 2018; los datos medidos en situación, provienen de instrumentos de medición adquiridos por los investigadores.

3.2.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ciudad de Puno se Ubica en las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud: $-15^{\circ}50'31''$ S

Longitud: $-70^{\circ}01'11''$ O

Altitud sobre el nivel del mar: 3825 m

3.2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA

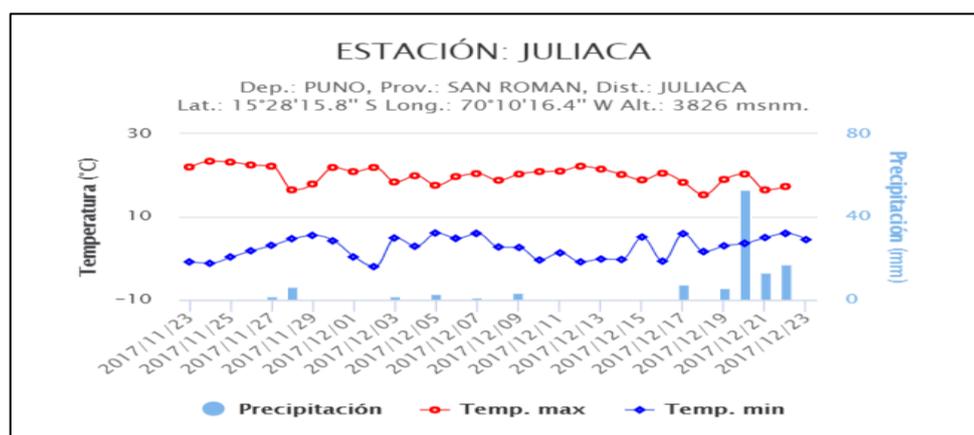
En lo referente al clima, la ciudad de Puno presenta una amplia oscilación entre el día y la noche; aunque predomina el frío, siendo éste más intenso en el invierno, principalmente en los meses de junio y julio, alcanzando valores inferiores a 0°C

En cuanto a su temperatura media, ésta es de entre 4 a 10°C , la temperatura máxima se mantiene uniforme a lo largo del año durante todos los

meses con un promedio de 18,08 °C, no de la misma manera la temperatura mínima que tiene como un promedio los -7,5 °C en julio.

Generalmente el verano es la estación húmeda, incluye los meses de diciembre a marzo, en los cuales la precipitación media varía entre los valores de 85,9 mm a 183,3 mm.

Figura 3. 1 Temperatura anual de Juliaca, Estación Juliaca.



Fuente: (SENAMHI, 2017).

3.3 MUESTRA Y POBLACIÓN

La muestra para el estudio fue el estiércol de cuy, adicionado con material orgánico (tallo de cebada) y agua en cierto porcentaje, colocados dentro de un biorreactor herméticamente sellado y conservados a una temperatura promedio de 35 °C.

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

3.4 PROCEDIMIENTO INICIAL DEL PROCESO

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

3.4.1 INFORMACIÓN BÁSICA

Se han recopilado las informaciones básicas de la investigación usando equipos e instrumentos de medición de parámetros físicos que nos permiten medir las variables del proceso:

Tabla 2. 1. Equipos utilizados en el proceso de investigación.

IITEM	INSTRUMENTO Y/O EQUIPO	UNIDAD	PARÁMETRO
01	Sensor de Temperatura PT-100 de tres hilos	°C	Medición de Temperatura.
02	Sensor de Presión analógico de (4-20)mA 24VDC	PSI	Sensor de presión del biogás y volumen de producción.
03	Controlador Lógico Programable (PLC) Zelio	Procesamiento de Señales	Es el cerebro del proceso para evaluar indicadores y controlar procesos.
04	Variador de Frecuencia Solar	Control de flujo de caudal	Es el encargado de controlar la velocidad de la electrobomba (Caudal).
05	Electrobomba Centrifuga de 0.5HP	Caudal	Es el encargado de realizar el trabajo con la impulsión de caudal
06	Medidor de PH	PH	Es el equipo encargado de medir el PH del Fluido del material en descomposición.

Elaboración Propia

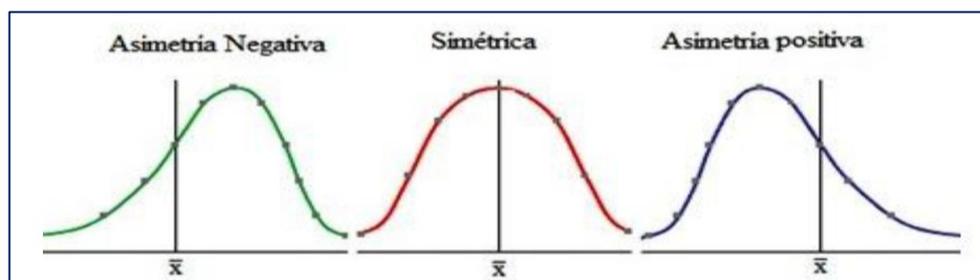
3.5 DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

3.5.1 MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN

Datos Obtenidos de la medición de la presión y temperatura, durante 22 días en un intervalo de 1 hora entre cada dato, desde el 22-OCT-2018 hasta el 11-NOV-18 y recogiendo dicha información mediante el PLC.

Para aplicar este método de Distribución, primeramente, determinaremos si tiene una distribución Simétrica, como se ve en la figura 3,2 (Campana de Gauss) o Asimétrica:

Figura 3. 2. Distribución Simétrica y Asimétrica Negativa – Positiva.



Fuente: (Canavos, 1998)

Para esto usaremos el método del Coeficiente de Karl Pearson:

$$A_s = \frac{3(x - Md)}{S} \quad (3,1)$$

Donde:

- \bar{x} = Media Aritmética
- Md = Moda
- S = Desviación Estándar

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_1 - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3,3)$$

Donde el Coeficiente de Pearson es: $A_s = -2.4464$

Nota: El coeficiente de Pearson varía entre -3 y 3.

- Si $A_s < 0$ → La Distribución será Asimétrica Negativa.
- Si $A_s = 0$ → La Distribución será Simétrica.
- Si $A_s > 0$ → La Distribución será Asimétrica Positiva.

3.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

3.6.1 DISEÑO DEL BIORREACTOR

Se diseñara un nuevo modelo de biorreactor, incorporando un serpentín para la transferencia de calor dentro del mismo y así lograr acortar el tiempo de obtención de biogás.

3.6.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Consta de los siguientes controladores:

3.6.2.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) ZELIO

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en ingles 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 y presión durante el proceso.

El Módulo de diseño 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 y presión del biorreactor.

Controlad lógico TM241CE24R: 14 entradas digitales, 10 salidas digitales, puerto de comunicación. El que se muestra en la figura .

Sensor de Temperatura Analógico PT-100

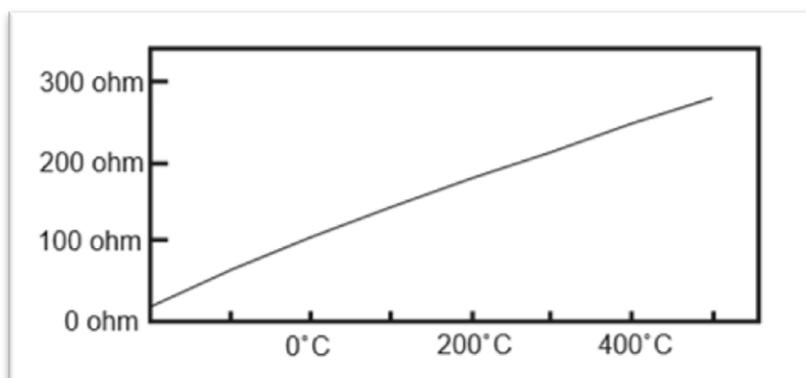
PT-100; es un sensor de temperatura de Platino pertenece a la familia de los RTD (Detector de Temperatura resistivo) también llamado Sonda de Temperatura, tiene una resistencia, cuando la temperatura está a 0°C la resistencia es igual a 100 Ohm. Tiene un rango de (-50 °C a 250 °C) muy usado en aplicaciones industriales.

- a) Tipo: Pt-100
- b) Diámetro Bulbo: 4.8mm
- c) Long. Útil de Bulbo: 5 cm
- d) Material: Acero Inoxidable 316
- e) Rango de Temp.: -50 °C a 250°C
- f) Cable de extensión: 80 cm (en Teflón – 3 Hilos)
- g) Origen: TAIWAN.

Un Pt-100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0°C tiene 100ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si

creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta que corresponde.

Figura 3. 3. Gráfica del pt100.



Fuente: ARIAN, control & instrumentación

Normalmente los Pt100 industriales se consiguen encapsulados en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio.

3.6.2.2. VENTAJAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA PT – 100

Por otra parte, los PT-100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °C).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que el PT-100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es una gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podría producir algún daño grave.

Además, el PT-100 puede ser colocado a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

3.6.2.3. VARIADOR DE FRECUENCIA

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.

3.6.2.4. ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA TRIFÁSICA

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.

3.6.2.5. DIMENSIONAMIENTO DEL ESPIRAL DE CU

a) Tubería de Cobre

Tipo de tubería: Tubo Flexible Tipo Usos Generales y Automotrices.
Longitud del Tubo 3/8: 12 m, espesor ($e=0,6\text{mm}$). Aplicaciones: Instalaciones de gas, automotrices y redes de agua en tendidos subterráneos.

3.6.2.6. SISTEMA DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN 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.

3.6.2.7. RELÉ RÁPIDO CON ENTRADA TENSIÓN TRANSITORIA

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

- a) 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.
- b) Conmutación de tensiones desde (24Vdc a 220Vac), y en corriente desde unos poco 3mA hasta 16A.

Figura 3. 4. Características del relé.

Relés para aplicaciones estándar			
Tensión de control	Número de contactos - Corriente Térmica		
	1 C/O -12 A 5 Pines	1 C/O -16 A 5 Pines	2 C/O -8 A 8 Pines
	Referencia	Referencia	Referencia
V			
≡ 6	RSB1A120RD	RSB1A160RD	RSB2A080RD
≡ 12	RSB1A120JD	RSB1A160JD	RSB2A080JD
≡ 24	RSB1A120BD	RSB1A160BD	RSB2A080BD
≡ 48	RSB1A120ED	RSB1A160ED	RSB2A080ED
≡ 60	RSB1A120ND	RSB1A160ND	RSB2A080ND
≡ 110	RSB1A120FD	RSB1A160FD	RSB2A080FD
~ 24	RSB1A120B7	RSB1A160B7	RSB2A080B7
~ 48	RSB1A120E7	RSB1A160E7	RSB2A080E7
~ 120	RSB1A120F7	RSB1A160F7	RSB2A080F7
~ 220	RSB1A120M7	RSB1A160M7	RSB2A080M7
~ 230	RSB1A120P7	RSB1A160P7	RSB2A080P7
~ 240	RSB1A120U7	RSB1A160U7	RSB2A080U7
Bases 12 A ~ 300 V			
Terminales	Tipo de Relé		Referencia unitaria
Separados	RSB 1A120 ●● RSB 1A160 ●● (2) RSB 2A080 ●●		RSZE1S35M RSZE1S48M
Módulos de protección			
Descripción	Para usar con	Tensión	Referencia
		V	
Circuito RC	Todas las bases	~ 24...60	RZM041BN7
		~ 110...240	RZM041FU7
Diodo + LED verde	Todas las bases	≡ 6...24	RZM031RB
		≡ 24...60	RZM031BN
		≡ 110...230	RZM031FPD
Varistor + LED verde	Todas las bases	≡ o ~ 6...24	RZM021RB
		≡ o ~ 24...60	RZM021BN
		≡ o ~ 110...230	RZM021FP
Accesorios			
Descripción	Para usar con	Referencia	
Accesorio de sujeción	Todas las bases	RSZR215	
Placa leyenda	Todas las bases	RSZL300	

Fuente: catálogo general de productos – 2016, automatización y control

3.6.2.8. ESTRUCTURA DEL BORNE

En forma general el borne consta de un cuerpo aislante y de una pieza o elemento metálico conductor que conecta la conexión de entrada o entradas con la de salidas o salidas.

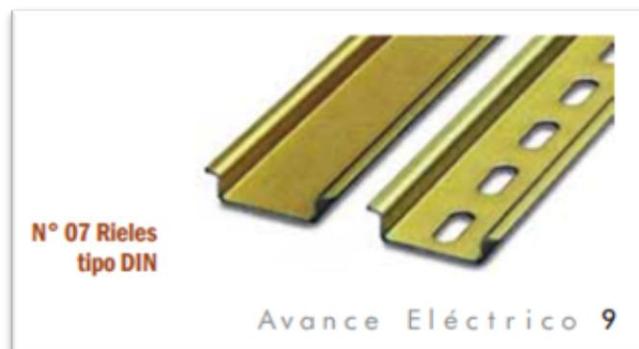
3.6.2.9. CUERPO.

Se construyen con dos tipos de materiales plástico aislante: melanina y poliamida.

La melanina es un tipo de material clasificado como termo rígido, que tiene características de no higroscópico o sea que no absorbe la humedad ambiente. La poliamida en cambio es de tipo termoplástico.

Ambos materiales tienen una elevada resistencia mecánica y muy buen comportamiento dieléctrico, su temperatura de trabajo es del orden de los 100°C.

Figura 3. 5. Riel tipo DIN.



Fuente: Ing. Alberto Luis Farin

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo presentaremos los resultados del análisis de los datos obtenidos en nuestra experimentación, en donde dichos resultados mostraran la mejora general del nuevo diseño del biorreactor.

Procederemos a desarrollar los resultados y discusiones que sirvan para consolidar lo obtenido, al tiempo que suponga una futura línea para nuevas investigaciones:

4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

4.1.1 DISEÑO DEL BIORREACTOR

Se diseñó un biorreactor de cobre para el mejor almacenamiento de biogás, incorporando un serpentín galvanizado de cobre (cu), dentro del biorreactor para la transferencia de calor, para acelerar el tiempo de fermentación.

4.1.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Consta de los siguientes controladores:

4.1.2.1. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) ZELIO

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

Figura 4. 1. Controlador Lógico programable, Modicon TM241.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. 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 excretas de cuy, y así monitorear a tiempo real cada variación de temperatura dentro del biorreactor.

Figura 4. 2. Sonda de Temperatura PT-100.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3. 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. 3. Variador de Frecuencia.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.4. 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. 4. Electrobomba Centrífuga Trifásica.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.5. DIMENSIONAMIENTO DEL ESPIRAL DE CU

b) 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. 5. Tubería de Cu de forma espiral.



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.6. 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.

Figura 4. 6. Sistema de mando y pulsadores.



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

Tabla 4. 1. De mando y pulsadores selectores y pilotos.

MANDO/PULSADORES SELECTORES Y PILOTOS				
	COLOR	ALIMENTACION	MATERIAL	FUENTE DE LUZ
PILOTOS TIPO LED Ø 22mm	Rojo	220vac	Plástico	Bloque LED fijo
	Verde			
	Azul			
	Amarillo			

Fuente: catálogo general de productos – 2016, automatización y control

4.1.2.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO

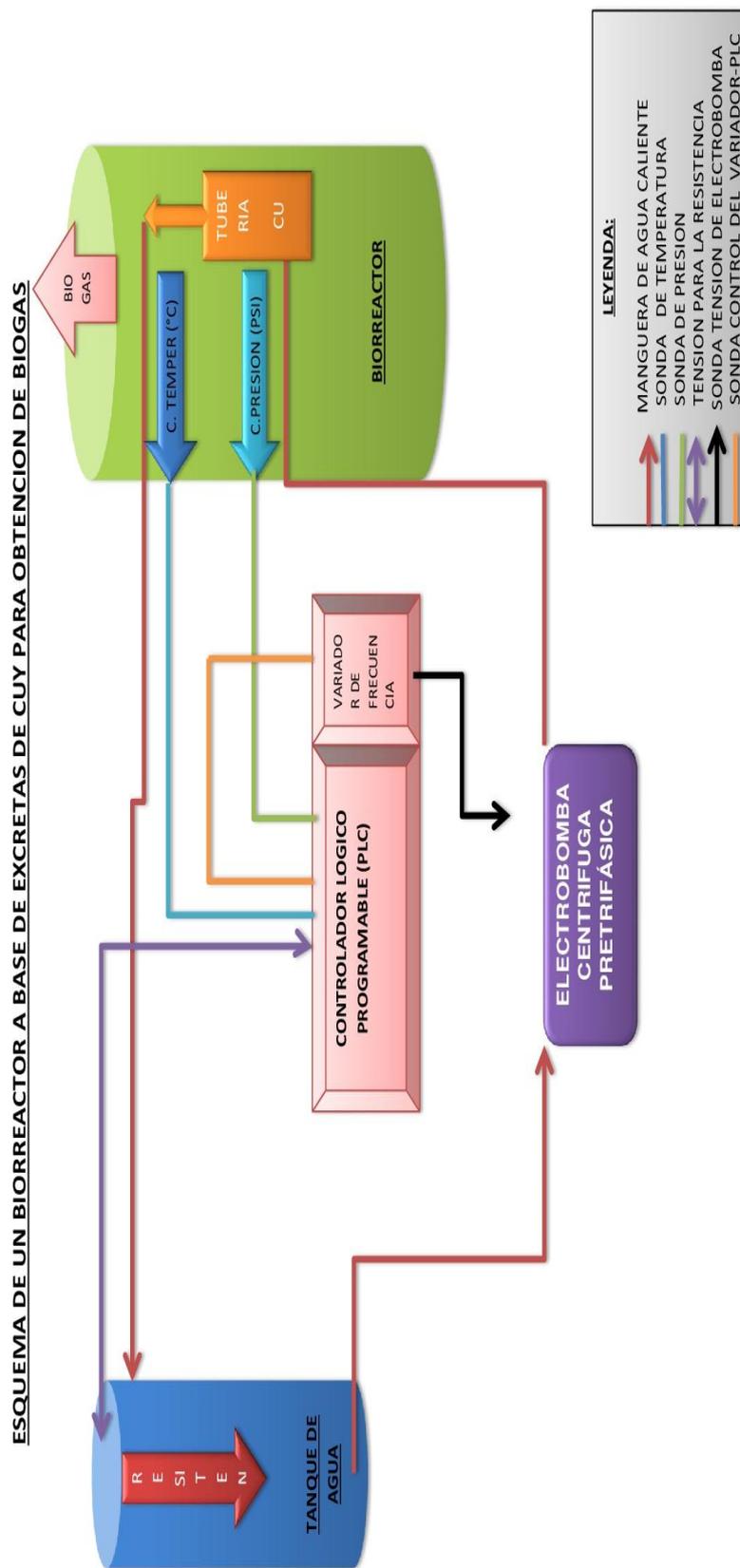
En el siguiente diagrama, se describe el funcionamiento del nuevo diseño de un biorreactor experimental de forma cilíndrica, el cual consta de una tubería de Cu en forma de espiral para mantener el calor a una temperatura de 35°C y producir biogás, además se instaló un sensor de temperatura (PT – 100) y un sensor de presión industrial enlazados directamente a un Controlador

Lógico Programable (PLC) para el procesamiento de la señal y monitorización en tiempo real y la adquisición de datos

Por otro lado se instalo dentro del tanque de agua una resistencia eléctrica para mantener la temperatura del agua a 35 C°, asi mismo se logro incorporar una bomba centrífuga para circulación del agua caliente por el sistema

La producción de biogás se dio aproximadamente luego de 22dias llegando a una presión óptima de 14 PSI y una temperatura de 35 °C promedio.

Figura 4. 7. Diagrama del sistema del Biorreactor



Elaboración Propia

4.2 VARIABLES DEL BIOGÁS

Analizando la Distribución es Asimétrica **Negativa**, en el cuadro 3,2

Tabla 4. 2. Funciones estadísticas a utilizar.

FUNCIONES ESTADÍSTICAS	
Min	1,180
Max	11,960
Media	7,782
Tamaño	21,000
Est. Clases	4,583
Clases	5,000
Incremento	2,156
Desv. Stand.	3,222
Incremento2	0,513

Fuente: Elaboración propia

$$Est. Clase = \sqrt{Tamaño} \quad (4,1)$$

$$Incremento = \frac{Max - Min}{Clase} \quad (4,2)$$

$$Incremento2 = \frac{Max - Min}{Tamaño} \quad (4,3)$$

Generamos el cuadro 4,2 para determinar la Frecuencia Óptima, en la que la Presión es constante.

Tabla 4. 3. Frecuencia en función a la presión.

Clases	Corte(presión)	Frecuencia
1	3,336	3
2	5,492	1
3	7,648	5
4	9,804	4
5	11,96	8

Fuente: Elaboración propia

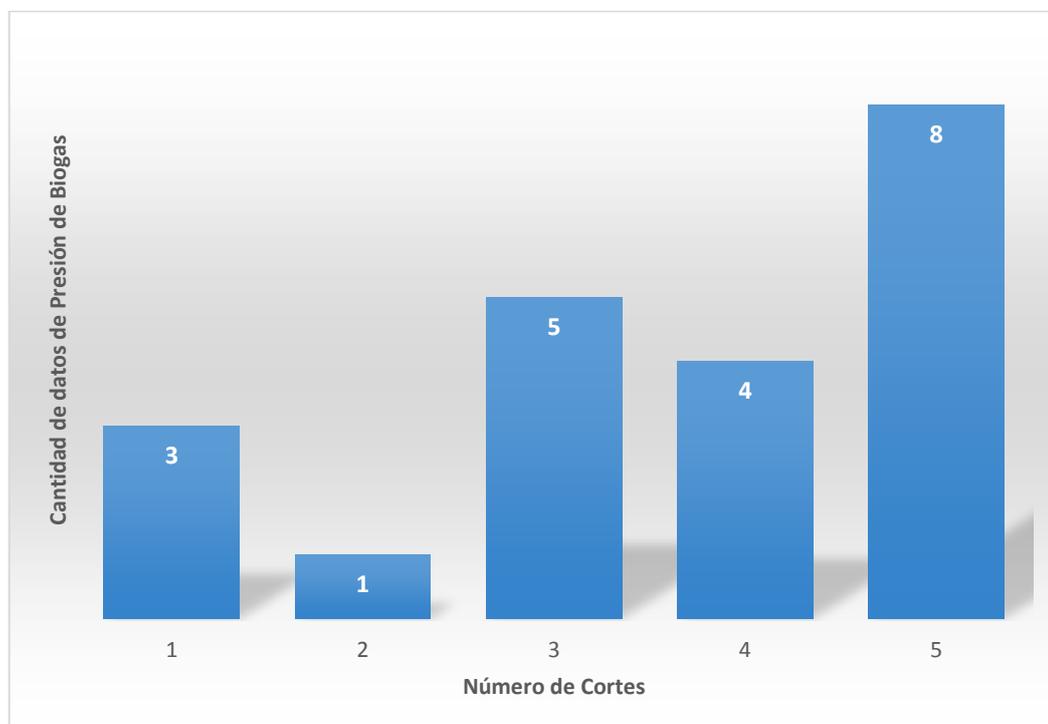
$$Corte = Min + Clase \times Incremento \quad (4,4)$$

$$Frec. = \frac{\overline{x}}{Corte} \quad (4,5)$$

$$Interv. = Frec - 1 \quad (4,6)$$

Del cuadro 4,2, llevando la repetición de muestras (frecuencia), al cuadro 4,3, se obtiene la distribución asimétrica negativa.

Figura 4. 8. Frecuencia de datos de presión durante un mes.



Fuente: Elaboración propia

Tomando como base la **Distribución Asimétrica Negativa**, Utilizaremos en programa Excel para determinar dicha distribución:

$$ISP = Min + n \times Incremento2 \quad (4,7)$$

Donde:

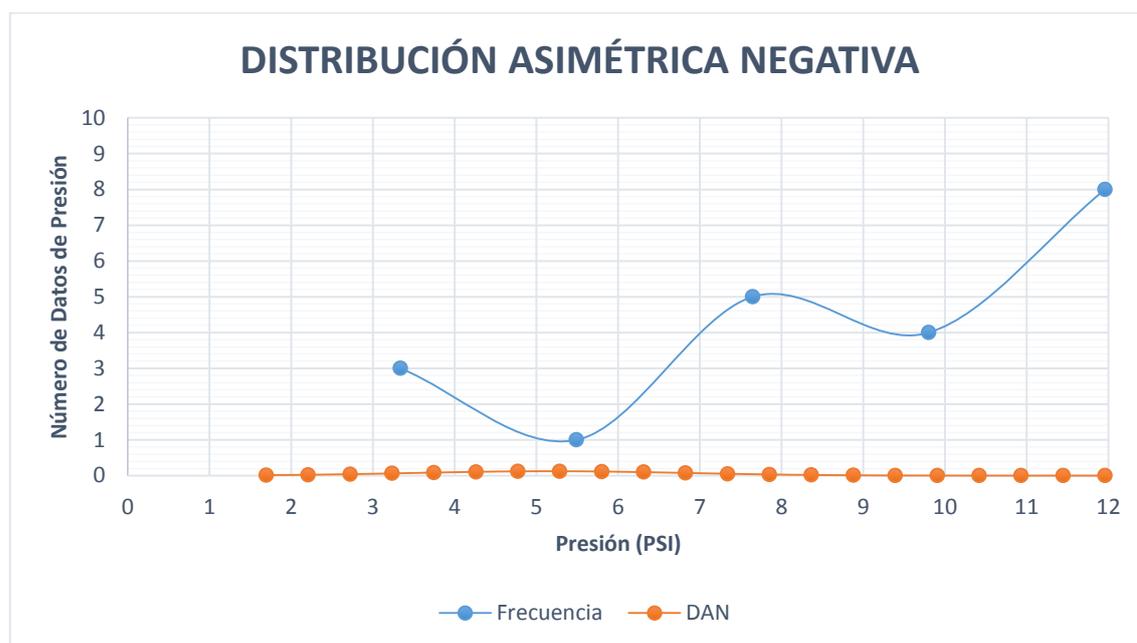
- IPS = DAN(Distribución Asimétrica Negativa)
- n_i = Datos

Tabla 4. 4. DAN de Presión en el Biogás.

Puntos (# de muestras)	Valores (psi)	DAN (%)
1	1,693	0,01351252
2	2,207	0,02474614
3	2,720	0,04115770
4	3,233	0,06216804
5	3,747	0,08528170
6	4,260	0,10624709
7	4,773	0,12021283
8	5,287	0,12352564
9	5,800	0,11527522
10	6,313	0,09769838
11	6,827	0,07519886
12	7,340	0,05256634
13	7,853	0,03337158
14	8,367	0,01924059
15	8,880	0,01007471
16	9,393	0,00479092
17	9,907	0,00206908
18	10,420	0,00081154
19	10,933	0,00028908
20	11,447	0,00009352
21	11,960	0,00002748

Elaboración propia

Figura 4. 9. Aproximación por distribución Asimétrica Negativa y Polinómica.



Fuente: Elaboración propia

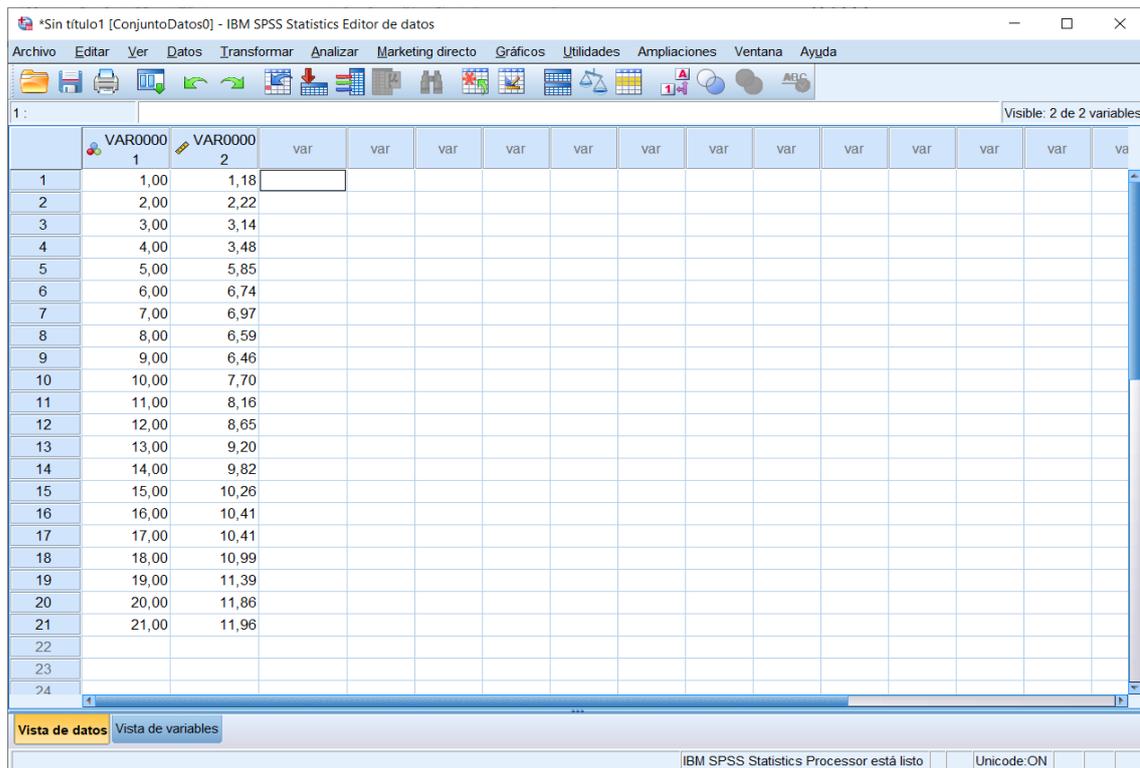
Comparando la figura 4,9 de Frecuencia con la figura 4.10 de Distribución Asimétrica Negativa, tiene un parecido similar con el cual este método se aproxima con la Distribución Asimétrica Negativa.

Del resultado de la Distribución Asimétrica Negativa de la figura 3.2, tiene mayor frecuencia de acumulación de biogás cuando la presión está por encima de 8 PSI y una temperatura de 28 °C aproximadamente.

4.2.1 UTILIZANDO EL SOFTWARE SPSS STADISTIC

Es un software estadístico para el análisis profundo de investigaciones cuantitativas y cualitativas; en esta investigación usaremos este software para ratificar la metodología usada anteriormente.

Figura 4. 10. Análisis estadístico, SPSS.



Fuente: Elaboración propia

Considerando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, si el nivel de significancia es: $P > 0,05$ entonces se acepta la hipótesis nula y los datos se distribuyen de manera Normal, si $P < 0,05$ entonces se acepta la hipótesis alterna y los datos se distribuyen de manera Asimétrica; mostrado en la figura se observa un nivel de significancia de $P = -0,117$.

Figura 4. 11. Prueba de Komogorov-Smirnov.

		VAR00001	VAR00002
N		21	21
Parámetros normales ^{a, b}	Media	11,0000	7,7829
	Desviación estándar	6,20484	3,22210
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,076	,117
	Positivo	,076	,100
	Negativo	-,076	-,117
Estadístico de prueba		,076	,117
Sig. asintótica (bilateral)		,200 ^{c, d}	,200 ^{c, d}

a. La distribución de prueba es normal.
 b. Se calcula a partir de datos.
 c. Corrección de significación de Lilliefors.
 d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Fuente: Elaboración propia

Para verificar si tiene una distribución Asimétrica Positiva o Negativa, observamos en la figura 24 donde dice asimetría. Si el valor está entre (0 – 3) entonces se considera distribución asimétrica positiva y si el valor es negativo hasta -3 como se ve en el gráfico -2.44 entonces se considera una **Distribución Asimétrica Negativa**.

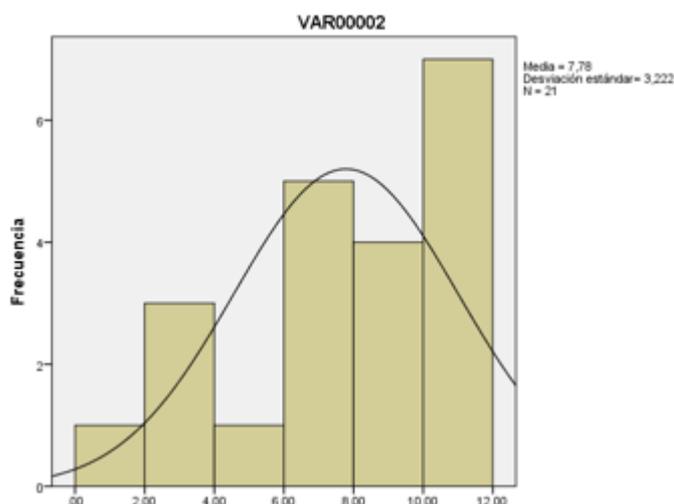
Figura 4. 12. Prueba de Asimetría Negativa o Positiva.

		Estadísticos	
		VAR00001	VAR00002
N	Válidos	21	21
	Perdidos	0	0
Media		11,0000	7,7829
Error estándar de la media		1,35401	,70312
Mediana		11,0000	8,1600
Moda		1,00 ^a	10,41
Desviación estándar		6,20484	3,22210
Varianza		38,500	10,382
Asimetría		,000	-,609
Error estándar de asimetría		,501	,501
Curtosis		-1,200	-,565
Error estándar de curtosis		,972	,972
Rango		20,00	10,78
Mínimo		1,00	1,18
Máximo		21,00	11,96
Suma		231,00	163,44
Percentiles	10	2,2000	2,4040
	20	4,4000	4,4280
	25	5,5000	6,1550
	30	6,6000	6,5380
	40	8,8000	6,9240
	50	11,0000	8,1600
	60	13,2000	9,3240
	70	15,4000	10,3200
	75	16,5000	10,4100
	80	17,6000	10,7580
90	19,8000	11,7660	

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Elaboración propia

Figura 4. 13. Histograma de frecuencia.



Elaboración propia

4.2.2 VARIABLES DE LA PRESIÓN DEL BIOGÁS

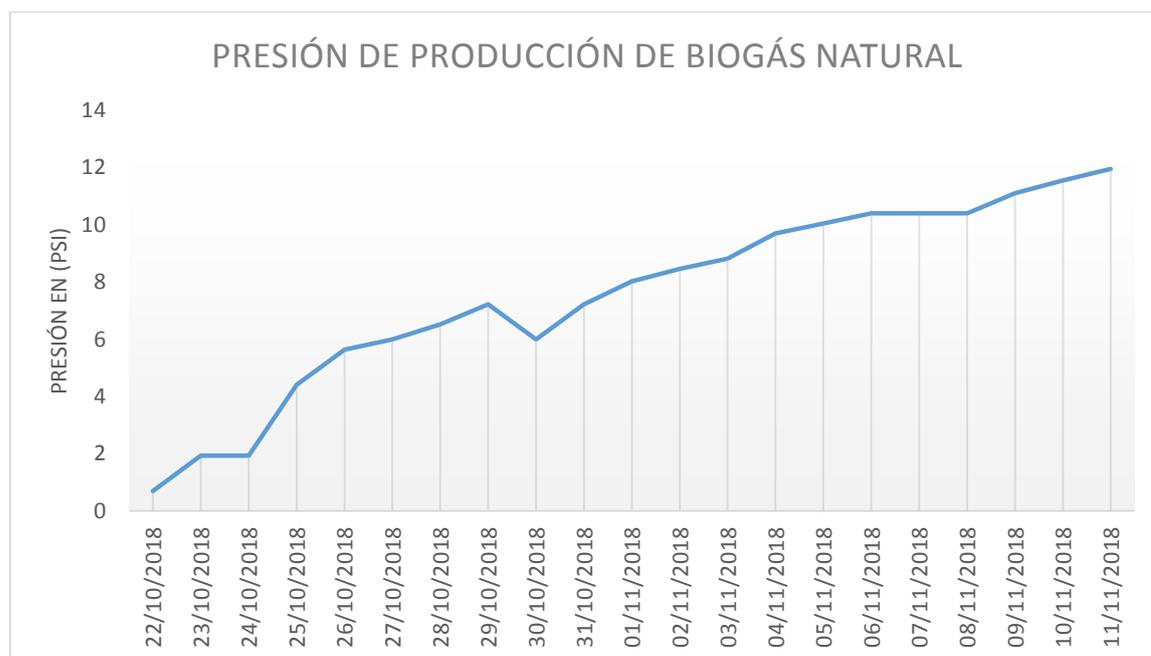
Tabla 4. 5. Datos presión y temperatura

ITEM (# muestras)	FECHA (d/m/a)	PRESIÓN (PSI)	TEMPERATURA (°C)
1	22/10/2018	1,18	15,70
2	23/10/2018	2,22	23,05
3	24/10/2018	3,14	24,65
4	25/10/2018	3,48	24,80
5	26/10/2018	5,85	29,05
6	27/10/2018	6,74	29,05
7	28/10/2018	6,97	26,19
8	29/10/2018	6,33	24,01
9	30/10/2018	6,48	25,00
10	31/10/2018	7,70	28,50
11	01/11/2018	8,16	28,65
12	02/11/2018	8,65	29,05
13	03/11/2018	9,20	29,93
14	04/11/2018	9,82	30,71
15	05/11/2018	10,26	31,10
16	06/11/2018	10,41	31,66
17	07/11/2018	10,53	33,20
18	08/11/2018	11,04	33,03
19	09/11/2018	11,39	33,71
20	10/11/2018	11,86	34,20
21	11/11/2018	11,96	34,28

Elaboración propia

Se observa la producción de presión y temperatura , tomando la muestra N° 1 en fecha 22-OCT-18 , con una presión de 1,18 PSI a una temperatura de 15,70 C° y llegando hasta la muestra N° 21 de fecha 08NOV18 llegando a una presión de 11,96 PSI a una temperatura de 34,28 C°

Figura 4. 14. Presión de producción de biogás natural.



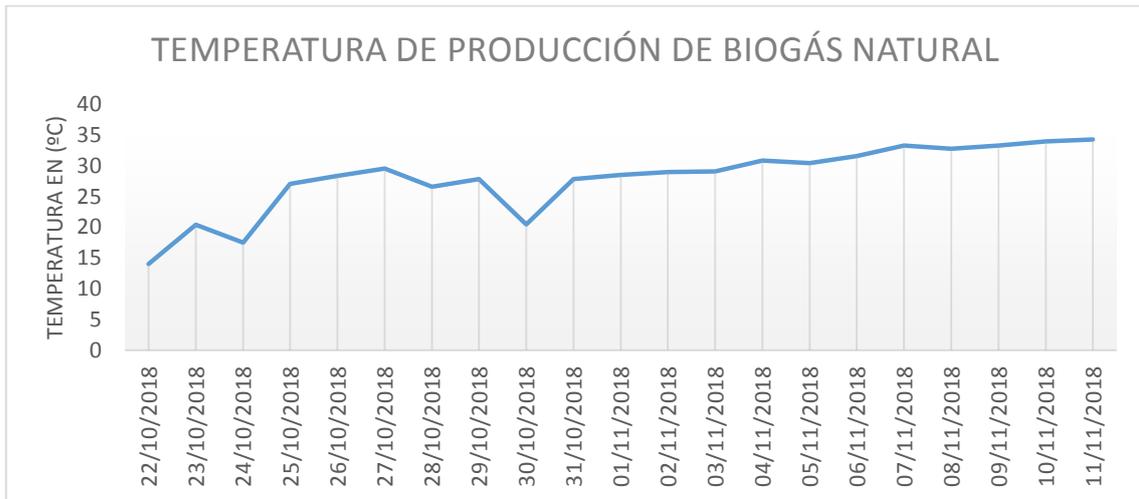
Elaboración propia.

En la figura se muestra la presión en aumento del biogás producido desde el 22 de octubre hasta el 12 de noviembre del 2018.

4.2.1 VARIABLES DE LA TEMPERATURA DEL BIOGÁS

En la figura se muestra la temperatura variable en el tiempo, cuando aumenta hasta 35°C la producción de biogás es mayor, y cuando disminuye hasta 18 °C la producción de biogás baja considerablemente en un 40%.

Figura 4. 15. Temperatura de producción de biogás natural.



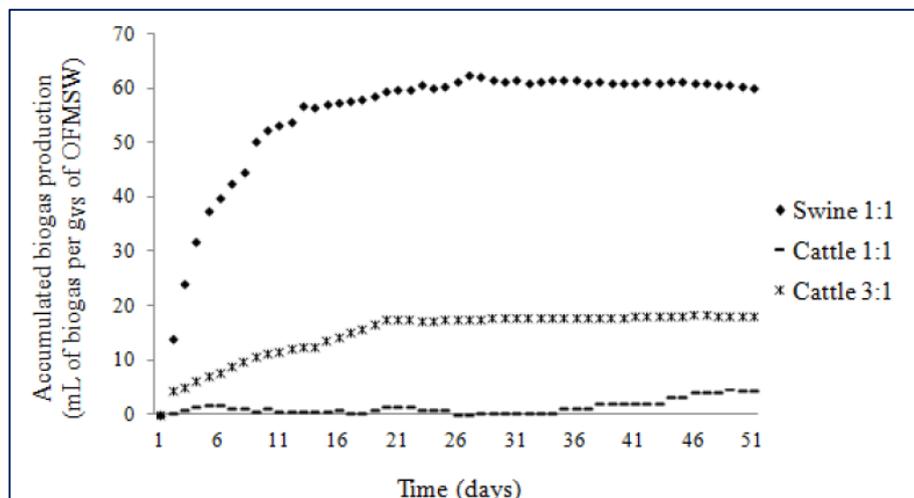
Elaboración propia.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La producción de biogás en una investigación hecha por (Los Barbosa et al., 2018), procesos anaeróbicos dio como resultados la obtención de biogás aproximadamente en 90 días, llegando a una presión constante de 60 PSI mostrado en la figura; en nuestra investigación la presión máxima fue de 14 PSI en 22 días.

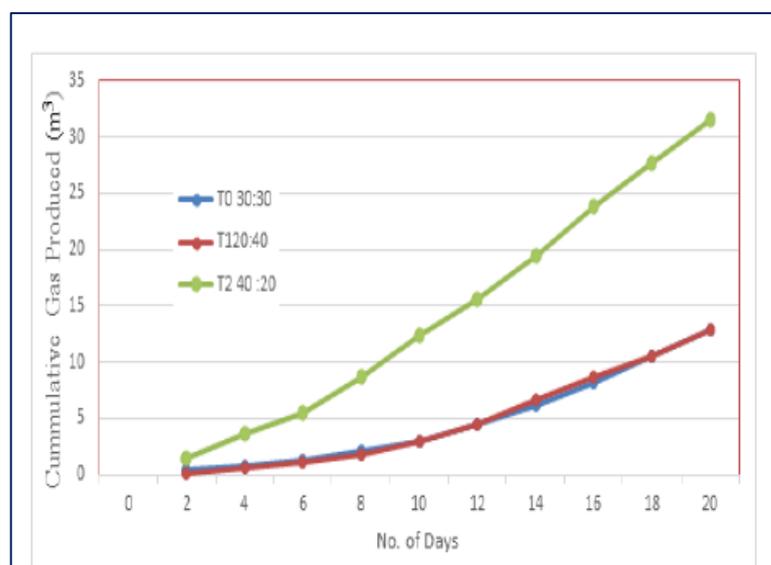
Figura 4. 16. Temperatura de producción de biogás natural.



Fuente: (Los Barbosa et al., 2018)

La obtención de biogás realizada por el autor (Annor et al., 2018), en un proceso de descomposición de materia orgánica en 90 días tuvo buenos resultados, llegándose a producir hasta 30 m³ en escala industrial mostrado en la figura; nosotros en nuestra investigación producimos un total de 0.4 m³ en 22 días.

Figura 4. 17. Acumulación de biogás en m³.



Fuente: (Annor et al., 2018)

CONCLUSIONES

PRIMERO:

Se diseñó un biorreactor en la ciudad de Puno, acelerando el tiempo de fermentación con el nuevo diseño, mecanizado para el soporte de alta presión, y herméticamente sellado.

SEGUNDO:

Se ha encontrado que el guano de cuy tiene un poder energético que supera hasta tres veces a las excretas de vaca.

TERCERO:

Se obtuvo biogás con una presión de salida de 12 PSI en 22 días, se descomponían de las excretas de cuy a una temperatura promedio de 30°C, usando un controlador industrial para el proceso y la monitorización de la presión y temperatura.

CUARTO:

Se ha evaluado la presión, temperatura y PH durante 22 días en la descomposición de las excretas de cuy dentro del biorreactor, enlazados a un controlador industrial, llegando a una presión máxima de 12 PSI y 34 °C.

RECOMENDACIONES

PRIOMERA:

Se sugiere seguir investigando en la producción de la energía a partir de la biomasa, por la generación en grandes cantidades de desechos sólidos orgánicos para su procesamiento evitando la contaminación medio ambiental.

SEGUNDO:

Con los resultados obtenidos, es viable construir un biorreactor industrial para el procesamiento de los desechos sólidos orgánicos de la ciudad de Puno.

TERCERO:

Se recomienda la instalación de un agitador automatizado dentro del biorreactor, para la aceleración de la descomposición orgánica.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Annor, J., Adzitey, F., Ansah, T., & Ampadu, O. M. (2018). Effect of Rumen Content to Water Ratio in Biogas Production. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 22(8), 1257-1262. doi:10.4314/jasem.v22i8.18
- Backes Bühring, G. M., & Pires Silveira, V. C. (2018). Biogas originated from residual biomass in ecosystem services. *Biogás oriundo da biomassa residual nos serviços ecossistêmicos.*, 13(4), 1-13. doi:10.4136/ambi-agua.2214
- Barnhart, S. (2013). *Biogas digester*: Salem Press.
- Bolton, W. (2001). *Ingeniería de Control* (AlfaOmega Ed. 2 ed.).
- Canavos, G. C. (1998). *Probabilidad y Estadística* (McGRAW-HILL Ed.): McGRAW-HILL.
- Czekała, W. (2018). Agricultural Biogas Plants as a Chance for the Development of the Agri-Food Sector. *Journal of Ecological Engineering*, 19(2), 179-183. doi:10.12911/22998993/83563
- Gómez-Pérez, C. A., & Espinosa, J. (2018). Design method for continuous bioreactors in series with recirculation and productivity optimization. *Chemical Engineering Research & Design: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part A*, 137, 544-552. doi:10.1016/j.cherd.2018.07.040
- Hanušovský, O., Bíro, D., Šimko, M., Gálik, B., Juráček, M., Rolinec, M., & Balušíková, L. (2018). The dynamic of the ruminal content pH change and its relationship to milk composition. *Acta Veterinaria Brno*, 87(2), 119-126. doi:10.2754/avb201887020119
- He, A., McDermid, G. J., Rahman, M. M., Strack, M., Saraswati, S., & Bin, X. (2018). Developing Allometric Equations for Estimating Shrub Biomass in a Boreal Fen. *Forests (19994907)*, 9(9), 1-14. doi:10.3390/f9090569
- 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
- Jun-Liang, Z., Shuang, S., Zhen-Xing, H., Li, Y., An-Guo, J., Yu, L., & Shou-Xian, W. (2018). Cultivation of *Pleurotus ostreatus*, a Potential Candidate for Biogas Residues Degradation. *BioResources*, 13(3), 5432-5449. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=131285952&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Lifeng, P., Shengdao, S., Haifeng, Z., Jianbo, G., & Chengran, F. (2018). Efficient Treatment of British Gas/Lurgi Coal Gasification Wastewater Using New Electro-Fenton Catalyzed by Biogas Residues and Coal Fly Ash Composite as Heterogeneous Catalyst. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(4), 1683-1690. doi:10.15244/pjoes/78153

- Los Barbosa, F. J., Cabral, A. R., Capanema, M. A., & Schirmer, W. N. (2018). Biogas Generation Potential of Anaerobic Co-Digestion of Municipal Solid Wastes and Livestock Manures. *Journal of Solid Waste Technology & Management*, 44(3), 248-258. doi:10.5276/JSWTM.2018.248
- Lower, C. T. (2016). *Temperature*: Salem Press.
- Muñoz, P., Muñoz, L., Cordero, C., Bibire, L., & Morales, M. P. (2018). Assessment of Economical Biogas Production from Chilean Municipal Solid Waste in a Decentralized Off-Grid Strategy. *Applied Ecology & Environmental Research*, 16(3), 2423-2439. doi:10.15666/aeer/1603_24232439
- Ogata, K. (2005). *Ingeniería de Control Moderna. 5ª Edición*, 1-987.
- Prays, N., Dominik, P., Sängler, A., & Franko, U. (2018). Biogas residue parameterization for soil organic matter modeling. *PLoS ONE*, 13(10), 1-12. doi:10.1371/journal.pone.0204121
- SENAMHI. (2017). *Parametros Climatologicos Promedio en Juliaca*.
- SOMACHINE-CENTRAL. (2017). *PLC (Version 4.3)*: Schneider Electric.
- TECSUP. (2014). *Estrategias de Control Automatico. Instrumentacion, Automatizacion y Control de procesos, 5ª Edición*, 1-365.

ANEXOS

ANEXO A: COSTOS Y PRESUPUESTOS.

METRADO Y PRESUPUESTO

Proyecto: "DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETAS DE CUY MONITOREADO CON UN CONTROLADOR INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO"
 Descripción: TESIS
 Motivo: INVESTIGACIÓN
 Provincia: PUNO
 Distrito: PUNO
 Institución: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FECHA: oct-15
 ELABORADO E.S.C.C.

ITEM	DESCRIPCION	METRADO		COSTO(S/.)	
		UNID.	CANT.	UNITARIO	PARCIAL
1.00	BIORREACTOR				
1.01	Biorreactor de 120 litros	unid	1,00	300,00	300,00
1.02	Tubería PVC + accesorios	Glb	1,00	80,00	80,00
1.03	Tubería de Cu (serpentin)	m	3,00	15,00	45,00
1.04	Tanque de suministro de agua de 5 galones	unid	1,00	30,00	30,00
	SUB TOTAL				455,00
2.00	INSTRUMENTACIÓN Y ACTUADORES				
2.01	Sensor de Presión analógico de (4-20)mA 24VDC	unid	1,00	700,00	700,00
2.02	Sensor de Temperatura PT-100 de tres hilos	unid	1,00	180,00	180,00
2.03	Medidor PH	unid	1,00	350,00	350,00
2.04	Resistencia de Calefacción de 1200 W	unid	1,00	70,00	70,00
2.05	Variador de Frecuencia de 0.5HP	unid	1,00	500,00	500,00
2.05	Electrobomba de 0.5 HP para recirculación de agua caliente	unid	1,00	400,00	400,00
	SUB TOTAL				2 200,00
3.00	CONTROLADOR INDUSTRIAL				
3.01	Fuente de alimentación de PLC Zelio	unid	1,00	250,00	250,00
3.02	Controlador Zelio	unid	1,00	700,00	700,00
3.03	Módulo de Expansión Zelio	unid	1,00	600,00	600,00
	SUB TOTAL				1 550,00
4.00	SOPORTE DE CONTROLADOR				
4.01	Estructura de Aluminio	unid	1,00	50,00	50,00
	SUB TOTAL				50,00
5.00	ACCESORIOS ELECTRICOS Y OTROS				
5.01	Conductores Eléctricos	unid	1,00	30,00	30,00
5.02	Pegamento+Silicona+Teflon+Sellador+abrazaderas	unid	1,00	100,00	100,00
5.03	Elementos de mando y señalización	unid	1,00	60,00	60,00
	SUB TOTAL				190,00
6.00	OFIMATICA				
6.01	Papel Bond	Bls	4,00	12,00	48,00
6.02	Impresiones y anillados	unid	10,00	27,00	270,00
6.03	Empastado	unid	7,00	24,00	168,00
6.04	Viáticos	unid	1,00	150,00	150,00
6.05	Revisión y Pruebas Eléctricas	unid	1,00	150,00	150,00
6.06	Otros (Materia orgánica, rastrojo, etc.)	unid	1,00	20,00	20,00
	SUB TOTAL				806,00

RESUMEN GENERAL

A.- SUMINISTRO DE MATERIALES	5 251,00
B.- GASTOS GENERALES	157,53
C.- GASTOS TRANSPORTE (5% de A)	262,55
D.- IGV (18% de A,B y C)	1 020,79
TOTAL	S/ 6 691,87

ANEXO B: SELLANDO LA TAPA DEL BIORREACTOR.



Elaboración propia

ANEXO C: MONITOREANDO LA PRESIÓN Y TEMPERATURA DEL BIORREACTOR.



Elaboración propia

ANEXO D: INSTALANDO LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y SENSOR DE PRESIÓN.



Elaboración propia

ANEXO E: MEZCLANDO LAS EXCRETAS DE CUY.



Elaboración propia

ANEXO F: TANQUE DE SUMINISTRO DE AGUA.



Elaboración propia

ANEXO G: DATOS MONITOREADOS DEL BIORREACTOR.



Elaboración propia

ANEXO H: SERPENTÍN INCORPORADO DENTRO DEL BIORREACTOR.



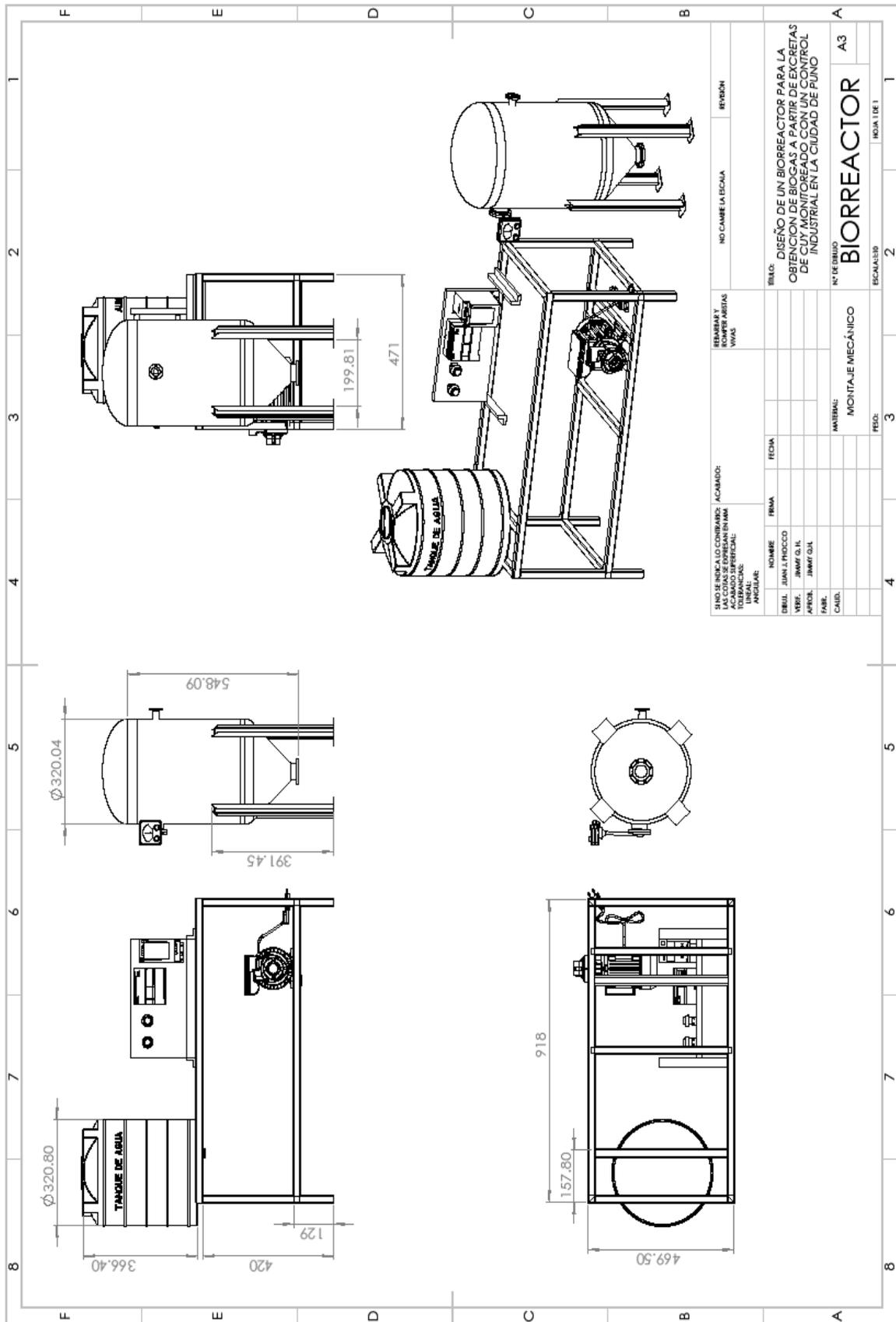
Elaboración propia

ANEXO I: MÓDULO DE CONTROL DE TEMPERATURA Y PRESIÓN.



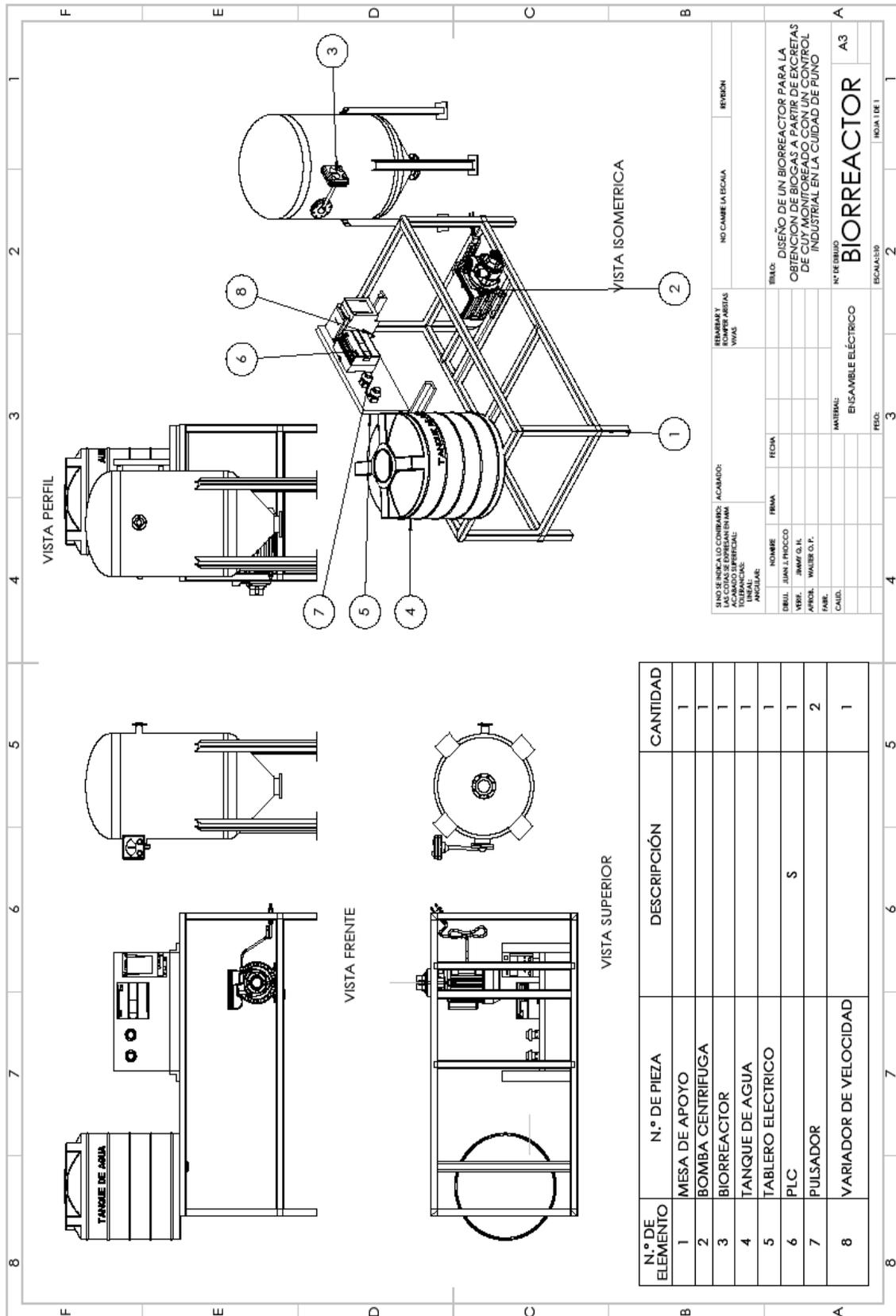
Elaboración propia

ANEXO J: PLANOS DE MONTAJE MECANICO



TITULO: DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE EXCRETAS DE UN REFINADOR DE CARBÓN DE PUNO INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO		REVISION: NO CAMBIA LA ESCALA	
N° DE DIBUJO: BIORREACTOR A3		ESCALA: 1:1	
MATERIAS: MONTAJE MECÁNICO		FECHA:	
NOMBRE: JUNJI PROCCO		FIRMA:	
VERIF.: JIMMY G. H.		FECHA:	
APROB.: JIMMY G. H.		NOMBRE:	
FABR.:		FECHA:	
CAND.:		NOMBRE:	
ACABADO:		REVISION:	
FINIS DE SERIE A LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		REMANER Y ROMPER ARETAS VIVAS	
ACABADO ESPECIAL:		TOLERANCIAS:	
LINEAL:		ANGULAR:	

ANEXO K: PLANO DE ENSAMBLE ELECTRICO



ANEXO L: PLANO DE DETALLE GENERAL

