



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



**PROTOTIPO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS
SÓLIDOS Y ORGÁNICOS, EN EL CENTRO POBLADO DE
CHILLA - JULIACA 2019**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ABRAHAM LAURA MAMANI

Bach. RUDY VIAME ZAPANA COLLANQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres ADRIAN LAURA VERA y NATIVIDA MAMANI CCORI, como también a mi hermano JULIO CESAR, y para mi tía ESTEFA, ya que, con su incondicional apoyo 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.

Abraham Laura Mamani



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: **ERMELINDA COLLANQUE GARCIA Y LUCIO ZAPANA CONDORI** 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 hermanas: **MERY** y **LIZBETH** y a mi hermano pequeño **JORDY**, que ha sido una gran ayuda en esos momentos difíciles de mi vida y que han servido como un gran apoyo para superarme.

Rudy Viame Zapana Collanque



AGREDECIMIENTOS

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 Electrónica, como también a mis compañeros de la promoción 2012, quienes fueron los pilares en la formación de mi vida profesional y ser personas útiles para la sociedad, a mis jurados, por guiarme y apoyarme en la culminación del presente trabajo de investigación. A mis compañeros y amigos de la primaria y secundaria por compartir y disfrutar momentos inolvidables.

Abraham Laura Mamani

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, amigos, a mi pareja Rosmery Flores y a mi querido compadre Lucio Pari Reyes, 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 Electrónica por haberme abierto las puertas para formar parte de ella y desarrollarme como un profesional más de calidad académica y profesional.

Rudy Viame Zapana Collanque



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGREDECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 14

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 15

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 15

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES..... 16

2.2. ANTECEDENTES NACIONALES 19

2.3. ANTECEDENTES LOCALES 20

2.4. EL BIOGÁS 21



2.5.	METANOGENESIS.....	22
2.6.	BIODIGESTOR	22
2.7.	PROCESOS DE BIODIGESTIÓN	24
2.8.	FUNDAMENTOS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA.....	31
2.9.	FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO METANOGENICO (PRODUCCIÓN DE BIOGÁS)	43
2.10.	EL BIOGÁS Y LA CALIDAD DE VIDA	72
2.11.	BIODIGESTOR Y ELECTRÓNICA	73

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	78
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	79
3.3.	TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN	80
3.4.	DISEÑO DEL BIODIGESTOR	82
3.5.	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	93

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO SEGÚN DISEÑO.....	98
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	104

V. CONCLUSIONES.....	106
-----------------------------	------------



VI. RECOMENDACIONES	107
VII. REFERENCIAS.....	108
ANEXOS.....	110

Área : Aplicaciones energéticas

Tema: Generación de energía

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 06 de agosto 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fermentación anaeróbica de glucosa en etanol.....	28
Figura 2: Respiración anaeróbica de la glucosa.	29
Figura 3: Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos	33
Figura 4: Producción de biogás según tipo de materia orgánica.	49
Figura 5: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilicos, mesófilicos y termófilicos.	55
Figura 6: Producción de biogás en función de la temperatura.	56
Figura 7: Composición del biogás en función del pH de la mezcla de materias primas	62
Figura 8: Dependencia del pH de la actividad metanogénica.	63
Figura 9: Crecimiento microbiano dentro de un digestor anaeróbico.	71
Figura 10: Datalogger para medir variables meteorológicas.....	74
Figura 11: Pantalla LCD 20X4.....	75
Figura 12: Caracteres soportados por una LCD 20X4	76
Figura 13: Esquema para el diseño Mecánico.....	82
Figura 14: Diseño del sistema de digestión.....	83
Figura 15: Esquema de diseño electrónico.....	84
Figura 16: Diseño del sistema electrónico (Proteus 1.1).....	85
Figura 17: Diseño del sistema electrónico (Proteus 1.2).....	86
Figura 18: Semiconductor DS18B20-PAR	88
Figura 19: Sensor de temperatura DS18B12.....	89
Figura 20: Esquema del diseño de Software.	92
Figura 21: Tanques de digestión.....	94
Figura 22: Materia orgánica.	96
Figura 23: Contenedor de residuos sólidos.	99
Figura 24: Tanque de almacenamiento biogás.	100
Figura 25: Evolución de temperatura y presión en periodo de 1 mes (30 días).	102
Figura 26: Evolución de temperatura y presión del día 4.....	103
Figura 27: Evolución de temperatura y presión en el periodo de 2 horas.	104



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características generales del biogás.	31
Tabla 2: Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.	38
Tabla 3: Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero.	43
Tabla 4: Residuos orgánicos de diversos orígenes.	44
Tabla 5: Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedios, base seca).....	45
Tabla 6: Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal.	46
Tabla 7: Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica	47
Tabla 8: Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos.	48
Tabla 9: Producción de biogás por tipo de residuo animal.	49
Tabla 10: Producción de biogás a partir de residuos vegetales.	50
Tabla 11: Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.	52
Tabla 12: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.	53
Tabla 13: Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica.	55
Tabla 14: Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones.	58
Tabla 15: Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica	68
Tabla 16: Concentración inhibidora de sustancias en un proceso anaeróbico.....	70
Tabla 17: Muestras tomadas.	80
Tabla 18: Equipos utilizados en el proceso de la investigación.	80
Tabla 19: Técnica para la recolección de datos.	81
Tabla 20: Las especificaciones técnicas del sensor.	87
Tabla 21: Descripción detallada de pines.	88
Tabla 22: Características del sensor de temperatura.....	89



Tabla 23: Conexión de módulos y dispositivos electrónicos.....	91
Tabla 24: Datos obtenidos de datalogger.....	101
Tabla 25: Valores máximos de temperatura y presión.	102



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGV: Ácidos Grasos Volátiles.

CH₄: Metano.

CO₂: Dióxido de Carbono.

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

MS: Materia Seca

NH₃: Amoniacó

ONH₄⁺: Amonio

pH: Potencial de Hidrógeno

ST: Sólidos Totales.

SV: Sólidos Volátiles.

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico.

TRSB: Tiempo de retención de Sólidos Biológicos.

VCO: Velocidad de Carga Orgánica.



RESUMEN

Cada día la población mundial va creciendo numerosamente, frente a ello se realiza actividades para su desarrollo; lo cual genera una gran cantidad de residuos sólidos orgánicos, a partir del consumo de alimentos durante todos los días. Dichos residuos podrían tener un mejor tipo de aprovechamiento. Debido a ello el presente trabajo de investigación describe el **diseño y la implementación del prototipo en el centro poblado de chilla – Juliaca**. El proceso de prueba de esta investigación se realizó durante un mes con una mezcla orgánica provenientes de residuos alimenticios; con el propósito de obtener la mayor cantidad de datos del proceso de digestión y producción de biogás; para la obtención de datos se implementó un controlador basado en programación de código abierto quien se encarga de la obtención de datos de presión y temperatura de cada una de las mediciones realizadas en el proceso de biodigestión. Las mediciones de dicho proceso fueron tomadas el 02 de setiembre del 2020 y se tomó 720 muestras durante el lapso de 30 días, el cual se toma una muestra del día 16 de (8:00 am – 10:00 am), dándonos como resultado una temperatura de 13°-16° y una presión de 3 PSI - 4.5 PSI, lo nos llevó a la conclusión de que los días con temperatura elevada son cuando se genera mayor cantidad de biogás.

Palabras Clave: Biodigestión, Biogás, Residuos sólidos.



ABSTRACT

Every day the world population is growing numerously, in front of it, activities are carried out for its development; which generates a large amount of solid organic waste, from the consumption of food every day. Said residues could have a better type of use. Due to this, the present research work describes the design and implementation of the prototype in the town of Chilla - Juliaca. The testing process of this research was carried out for a month with an organic mixture from food waste; with the purpose of obtaining the greatest amount of data from the biogas digestion and production process; To obtain data, a controller based on open source programming was implemented, which is responsible for obtaining pressure and temperature data from each of the measurements made in the biodigestion process. The measurements of this process were taken on September 2, 2020 and 720 samples were taken during the period of 30 days, which is taken a sample from the 16th of (8:00 am - 10:00 am), giving us the result a temperature of 13 ° -16 ° and a pressure of 3 PSI - 4.5 PSI, led us to the conclusion that days with high temperatures are when the greatest amount of biogas is generated.

Key Words: Biodigestion, Biogas, Solid waste.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación ha sido planteado como una posible solución al problema del cuidado del medio ambiente, siendo así un motivo que nos lleva a realizar esta investigación. El objetivo general de este proyecto de investigación es diseñar e implementar un prototipo de un biodigestor anaeróbico, con la finalidad de producir biogás a partir de los residuos sólidos, para el consumo de los hogares del centro poblado de centro poblado de chilla.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional genera una gran cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos mediante las actividades que se realizan; entre ellos los residuos alimenticios que muchas veces son desechados en lugares públicos generando olores nauseabundos, reproducción de microorganismos que podrían ser transmisores de enfermedades. Además, son fuente de contaminación y perjudican notablemente los recursos básicos como el agua, el aire y el suelo. Una población tan numerosa como la del centro poblado de chilla se debería de implementar un adecuado manejo de los residuos sólidos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Justificación del problema de investigación

Teniendo presente la cantidad de residuos orgánicos generados diariamente en el centro poblado de chilla y el manejo inadecuado de los mismos, es necesario implementar procedimientos para su manejo y disposición; para ello se realizó el estudio de un prototipo de un biodigestor anaeróbico para la producción de biogás a partir de los residuos sólidos y orgánicos.



La finalidad para realizar este proyecto se debe al cuidado del medio ambiente, en el relleno sanitario donde se aprovechará energía a partir del biogás, así mejorando así la calidad de vida de las personas.

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La presión de biogás se obtendrá según la temperatura ambiente.

1.3.2. Hipótesis específicos

- La obtención de biogás a partir de residuos sólidos se obtendrá mediante el proceso de biodigestión, el cual acelerará la producción de gas metano y dependerá bajo las condiciones del clima que varía entre 0.22°C a 16.43°C en el distrito de chilla.
- En el proceso de producción de biogás se logrará obtener los parámetros físicos, tanto de temperatura y presión, monitoreado por un controlador que se almacenará en un registro de datos (datalogger).

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de un biodigestor anaeróbico para la producción de Biogás a partir de residuos sólidos y orgánicos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar y obtener el nivel de temperatura deseada para la obtención de mayor cantidad de biogás.
- Monitorear y evaluar los parámetros obtenidos en el transcurso de la producción de biogás registrados en el datalogger.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Si nos remontamos a la antigüedad, sabremos que el biogás ha sido producido desde las primeras civilizaciones, como la de los sumerios, quienes lo produjeron alrededor del año 3000 a.C. En el año 1776, Alessandro Volta colectó gas del lago Komo para examinarlo, demostrando que la formación del gas depende de un proceso de fermentación que puede formar con el aire una composición explosiva. Con el paso de los años, investigadores como Dalton, Henry y Davy (1800) describieron por primera vez la estructura química del metano. Sin embargo, su estructura química final fue aclarada por primera vez por Amedeo Avogadro en 1821 (Landeros Gutiérrez & Sánchez Sánchez, 2012).

En la investigación titulada “Control de biogás: Monitoreo de la producción de metano usando Arduino” presentada por los autores, afirma que Extraer energía de la biomasa es una alternativa importante para producir diferentes tipos de energía (calor, electricidad o ambos) asegurando una baja contaminación y una mejor eficiencia. Es un enfoque nuevo pero confiable para reducir las emisiones de gases verdes mediante la extracción de metano de los efluentes de la industria y su uso para alimentar maquinaria. Nos enfocamos en nuestro proyecto en el uso de papel y efluentes de fábrica, tratados en un reactor UASB. El metano producido se utiliza en el suministro de energía de la fábrica. El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema electrónico utilizando la plataforma Arduino conectada a un sensor de gas, para medir y visualizar la curva de producción diaria de metano en proceso. El sensor enviará los valores de gas en ppm a la placa Arduino para que ésta envíe el protocolo de hardware RS232. El código desarrollado con



procesamiento transformará los valores en una curva y lo mostrará en la pantalla de la computadora. (Ait Ahmed, Aggour, & Naciri , 2017)

En la investigación titulada como “Estimación de los gases efecto invernadero generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del río Bogotá”. “El presente estudio contiene un análisis de datos que relaciona la carga orgánica presente en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la cuenca del río Bogotá y su incidencia en la generación de gases efecto invernadero (GEI) durante el proceso de depuración. Dentro del análisis se recopiló una serie de consideraciones técnicas relacionadas con la generación de GEI de las diferentes PTAR que hacen parte de la cuenca. De acuerdo con las características del sistema empleado en el tratamiento de las aguas residuales, se determina cuál proceso genera mayor aporte de emisiones, teniendo en cuenta el estado actual de cada planta. Para ello, se emplea la metodología nivel 1 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para los inventarios de GEI. Con base en los resultados obtenidos, se identifica cuáles sistemas de tratamiento empleados en las PTAR inciden en mayor proporción en la emisión de GEI.” (Cristancho Montenegro, Gámez Posada, Guerra Alfaro, & Dueñas Escudero, 2018)

En la investigación titulada como “Modelación, implementación y automatización de una micro planta de producción de biogás a partir de biomasa residual para el laboratorio de energías renovables del dicen de la universidad de las fuerzas armadas – ESPE” afirma que; “En la historia, la humanidad se ha centrado en el uso de energía en base de combustibles fósiles, causando un fuerte impacto ambiental, sin embargo en la última década surge la necesidad de desarrollar el uso de energías renovables ya que los combustibles fósiles se acabaran eventualmente. El estudio de los biodigestores a lo largo de los años se lo ha realizado siempre de manera empírica, habiendo muy pocos ensayos



que monitoreen directamente las variables del proceso para determinar la influencia de las mismas en la producción de biogás. Por ello, en el presente proyecto, se plantea un equipo de producción de biogás a pequeña escala, capaz de monitorear directamente las variables más importantes del proceso: temperatura y PH. La micro planta se conforma de dos tanques independientes, y una interfaz HMI, que permite al usuario seleccionar la temperatura deseada y visualizar las principales variables en tiempo real durante todo el proceso. Adicionalmente la micro planta recopila los datos cada minuto, y los organiza en un archivo de texto que puede abrirse en un computador. El equipo instalado se ha sometido a pruebas de funcionamiento, donde se ha comprobado su desempeño. Posterior a ello se presenta un análisis económico del mismo, y un análisis del comportamiento del PH para una mezcla 50:50 de sangre y estiércol de chanco.” (Chavez Jacome & Velasco Olave, 2015)

En la investigación titulada como “Sistema integral de generación de energía eléctrica por medio de BIOGÁS” menciona que “En México existen muchas comunidades que no cuentan con requerimientos más básicos para tener una vida digna, comunidades privadas de las oportunidades y de bajo Índice de Desarrollo Humano (IDH), por tanto, son comunidades de alta marginación y pobreza. En el estado de Chiapas esta situación se repite en mayor cuantía en estas comunidades, no existen servicios básicos, como el uso de una red eléctrica o red de drenaje, con grandes problemas de salud y pobreza, por tanto, se hace urgente buscar una solución de forma sustentable a tal problemática. En el presente trabajo se muestran los resultados del desarrollo de un sistema integral de generación de energía eléctrica por medio de biogás (SIGEEB), mediante la implementación de un sistema de producción biogás en biodigestores alimentados por excretas de ganado vacuno, para proponer su uso como biocombustibles en un motor de combustión interna de gasolina, que a su vez estará acoplado a un



generador eléctrico (M-G). Al producir energía eléctrica combustionando biogás se amplían las opciones de ser implementadas en comunidades rurales para mejorar el IDH de los habitantes de las mismas. El biogás se obtuvo mediante biodigestores del tipo DM1 desarrollados por el Cuerpo Académico de Energía y Sustentabilidad de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), construidos e instalados en el Centro de Desarrollo y Evaluación de Biodigestores, dentro de la misma universidad. Se desarrolló un sistema de purificación y compresión de biogás (SPCB) que permitió la eliminación de impurezas, así como la compresión de biogás limpio y almacenados en tanques de gas Lp, para finalmente proponerse su uso como biocombustible en la generación de energía eléctrica. Los resultados obtenidos muestran que los dispositivos actuales que funcionan a gasolina pueden ser adaptables para usar como combustible el biogás, usando materiales factibles para este cambio de combustible.

Al utilizar una tecnología limpia y amigable con el medio ambiente, como es la aplicación del SIGEEB es una opción viable para mejorar los IDH de una comunidad de alta marginación, al contar con una fuente de energía eléctrica que les ayude a solventar las necesidades más esenciales de la vida e incluso esta energía podrá ser implementada en otras actividades, como programas vinculados a la educación y salud, siendo un fuerte aliado en la lucha contra el analfabetismo y problemas de salud; llevando así a estas comunidades ventajas sociales, económicas y un apoyo a la conservación del medio ambiente.” (Vazquez Valencia , 2016)

2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

En la investigación titulada como “Mecanismo de desarrollo limpio estudio de biodigestores. Lima-Perú.”, 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. (Ramos, 2006)

2.3. ANTECEDENTES LOCALES

En la investigación titulada “ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON RESIDUOS SÓLIDOS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR – PUNO, PERIODO 2018” 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 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 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. (Ojeda Casilla, 2019)

2.4. EL BIOGÁS

2.4.1. Concepto

El biogás también llamado gas natural, presenta como principal componente el metano, el cual fue utilizado por los pueblos persas y chinos para generar calor (Kaiser et al., 2002). En el año 1776, según Kaiser et al. (2002), el científico italiano Volta descubrió que el principal componente del biogás era el metano, 100 años después se descubrió el origen microbiológico de la formación del metano. En el año 1887, el científico Hoppe-Seyler comprobó la formación de metano a partir de acetato; lo mismo fue encontrado por Omelianski en 1886. Así mismo, fue en el año 1888 que el científico Gayon obtuvo biogás mezclando excremento de vacunos o de caballerías con agua, a una temperatura de 35°C. En 1906 Soehngen descubrió la formación de biogás (metano) a partir de hidrógeno y dióxido de carbono (Kaiser et al., 2002). Luego de la segunda guerra mundial, la utilización de la tecnología del biogás aumentó, debido al alto costo de las fuentes de energía fósil.



2.4.2. Historia

Si nos remontamos a la antigüedad, sabremos que el biogás ha sido producido desde las primeras civilizaciones, como la de los sumerios, quienes lo produjeron alrededor del año 3000 a.C. En el año 1776, Alessandro Volta colectó gas del lago Komo para examinarlo, demostrando que la formación del gas depende de un proceso de fermentación que puede formar con el aire una composición explosiva. Con el paso de los años, investigadores como Dalton, Henry y Davy (1800) describieron por primera vez la estructura química del metano. Sin embargo, su estructura química final fue aclarada por primera vez por Amedeo Avogadro en 1821. (Landeros Gutiérrez & Sánchez Sánchez, 2012)

2.5. METANOGENÉISIS

La metanogénesis es la formación de metano por parte de los seres vivos. Es una forma de metabolismo microbiano muy importante y extendida. En la mayoría de los entornos, es el paso final de la descomposición de la biomasa. Recientemente se ha demostrado que el tejido de las hojas de las plantas vivas emite metano. (Keppler, Hamilton, & Braß, 2006)

2.6. BIODIGESTOR

Los biodigestores no son otra cosa que un recipiente cerrado el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico y donde se incorpora la materia orgánica para ser descompuesta por las bacterias metanogénicas y son empleados para la producción de biogás. (López M., 2011 citado en Chavez Jacome & Velasco Olave, 2015)

Las ventajas de producir gas mediante un biodigestor son:

- La reducción de la contaminación por desechos sólidos.



- Producir biogás de acuerdo a las necesidades y manteniendo un control e producción.
- Manipulación de la materia orgánica para posteriores usos en distintos campos.

En la actualidad existen variados tipos de biodigestores de variados usos y tecnología entre otros, según esto se encuentran los biodigestores de alimentación o carga (ingreso materia prima) continua, semicontinua o discontinua. Para el estudio propuesta se utilizará un biodigestor Discontinuos o régimen estacionario.

Los digestores 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 (MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, 2011).

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es una forma simple de un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales - no se incluyen cítricos ya que acidifican) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos rico en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. Asimismo, el sistema puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidrogenación y pos tratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor (López-Pérez, 2014: 16-56)

El fenómeno ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de



origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH₄) llamada biogás, que es utilizado como combustible y como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas, dando lugar a una de las características más importantes de la bio-digestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno DQO y la Demanda Biológica de Oxígeno DBO hasta en un 90% (dependiendo de las condiciones de diseño y operación).

Biodigestor “Tanque hermético donde se produce la digestión anaeróbica, debe ser hermético y proteger la materia tratada del frío y el calor”. (Bravo, 1992). “El digestor es el componente del sistema de biogás que optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada”. (UPME, 2003)

2.6.1. Tipo de Biodigestores

Según Método de Carga Los Biodigestores se pueden clasificar, de acuerdo al método de carga en dos tipos:

2.7. PROCESOS DE BIODIGESTIÓN

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y



eliminación de residuos. La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos. (Varnero Moreno, 2011)

2.7.1. Digestión aeróbica

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. Al comienzo, el proceso de digestión aeróbica tuvo escasa aceptación, debido a que se desconocían sus principios fundamentales, además de que encarecían los costos del tratamiento por la cantidad adicional de energía necesaria para el suministro de aire al proceso. En contraste, los procesos de digestión anaeróbica permiten utilizar el metano generado como fuente de energía. La principal ventaja del proceso aeróbico es la simplificación en las operaciones de disposición de los lodos comparada con la relativa complejidad operativa del proceso de digestión anaeróbica. La digestión aeróbica es un proceso mediante el cual los lodos son sometidos a una aireación prolongada en un tanque separado y descubierto. Las fuentes de carbono orgánico disponibles se hacen limitantes, y por consiguiente, también se presenta una disminución en la tasa de consumo de oxígeno. Cuando la cantidad de materia orgánica disponible es apenas suficiente para garantizar la subsistencia de las distintas especies de microorganismos, éstos comienzan a autooxidarse mediante su metabolismo endógeno. La digestión aeróbica presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos,



reduce la cantidad de coliformes fecales y por lo tanto, de organismos patógenos, produce un sobrenadante clarificado con una baja DBO₅, con pocos sólidos y poco fósforo. El proceso presenta también sus desventajas, entre las que se suele mencionar los altos costos de operación causados por los altos consumos de energía, la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío. (Varnero Moreno, 2011)

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales. (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu , 2005)

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70 %) y dióxido de carbono (30 a 50 %), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70 %. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en



calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.^{2,20} Por otro lado, la masa restante biodegrada por las bacterias puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos, así como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación. El presente trabajo, es la primera de tres partes, que tienen como objetivo realizar un resumen analítico e informativo del proceso de la digestión anaeróbica. En esta parte se plantean los aspectos teóricos fundamentales dirigidos a ilustrar los conocimientos más recientes relacionados con la microbiología y la bioquímica de este proceso, así como de los parámetros físicos y químicos que hacen que el mismo sea más eficiente. (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu , 2005)

2.7.2. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H_2 O_2). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar

contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo. El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación anaeróbica o respiración anaeróbica dependiendo del tipo de aceptores de electrones. (Varnero Moreno, 2011)

2.7.3. Fermentación anaeróbica

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad. El producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones. En la fermentación, el sustrato es parcialmente oxidado y por lo tanto, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato se conserva. Es importante destacar que la mayor parte (dos tercios) del metano se produce mediante fermentación anaeróbica en el cual el acetato actúa como dador y aceptor de electrones. La producción de metano mediante esta vía se conoce comúnmente como metanogénesis acetotrófica. La fermentación anaeróbica se puede aplicar para la recuperación de biocombustibles (e.g. hidrógeno y butanol) y productos bioquímicos (nisina y ácido láctico). (Varnero Moreno, 2011)

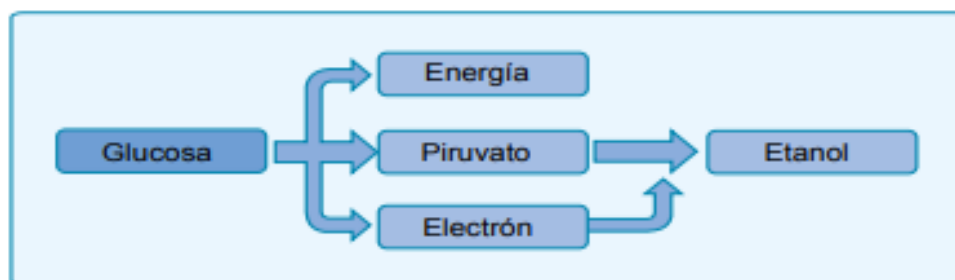


Figura 1: Fermentación anaeróbica de glucosa en etanol

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

2.7.4. Respiración anaeróbica

La respiración anaeróbica es un proceso biológico de oxidación-reducción de monosacáridos y otros compuestos en el que el aceptor terminal de electrones es una molécula inorgánica distinta del oxígeno, y más raramente una molécula orgánica. La realizan exclusivamente algunos grupos de bacterias y para ello utilizan una cadena transportadora de electrones análoga a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica. No debe confundirse con la fermentación, que es un proceso también anaeróbico, pero en el que no participa nada parecido a una cadena transportadora de electrones y el aceptor final de electrones es siempre una molécula orgánica. La respiración anaeróbica requiere aceptores de electrones externos para la disposición de los electrones liberados durante la degradación de la materia orgánica. Los aceptores de electrones en este caso pueden ser CO_2 , SO_4^{2-} o NO_3^- . La energía liberada es mucho mayor a la que se produce durante la fermentación anaeróbica. (Varnero Moreno, 2011)

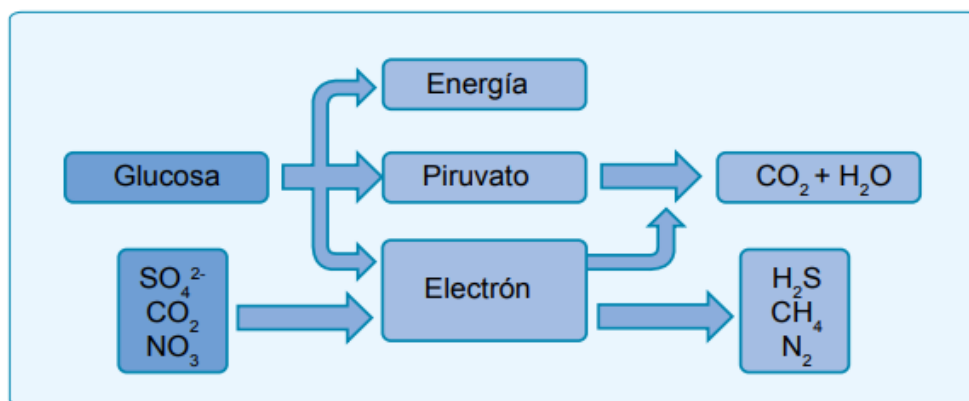


Figura 2: Respiración anaeróbica de la glucosa.

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

Cuando el CO_2 acepta los electrones liberados por la materia orgánica, se reduce a gas metano (CH_4). La producción de CH_4 mediante esta vía se conoce como



metanogénesis hidrogenotrófica y es responsable de un tercio de la producción total de metano. Ciertos microorganismos anaeróbicos también utilizan el CO_2 como aceptor de electrones y reducen el hidrógeno a ácido acético. La presencia de sulfato en un ambiente anaeróbico desvía parte de la materia orgánica hacia la reducción de sulfato mediante un grupo especializado de bacterias anaeróbicas conocido como bacterias reductoras de sulfato. La liberación de sulfuro de hidrógeno, gas de olor penetrante, es característico en ambientes anaeróbicos en los cuales el sulfato actúa como aceptor de electrones. Cuando el nitrato (NO_3^-) actúa como aceptor de electrones, se reduce a gas nitrógeno. Este corresponde a un proceso biológico estándar para la remoción de compuestos nitrogenados en las aguas residuales. El grupo de bacterias involucradas en este proceso se conocen como bacterias reductoras de nitrato o desnitrificadoras. (Varnero Moreno, 2011)

2.7.5. Productos finales de la digestión anaerobia

Los principales productos del proceso de digestión anaerobia, en sistemas de alta carga orgánica y en mezcla completa, son el biogás y un bioabono que consiste en un efluente estabilizado. (Varnero Moreno, 2011)

2.7.5.1. Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Varnero Moreno, 2011).

2.7.5.2. Bioabono

Las características del bioabono, dependen en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte

de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor al de las materias primas. Gran parte de la materia orgánica de este producto se ha mineralizado, por lo que normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico. (Varnero Moreno, 2011)

Tabla 1: Características generales del biogás.

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kw h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Limite de explosión	6 – 12% de biogás en el aire
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
(continuación...)	
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás disulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: Deublein y Steinhauser, (2008)

2.8. FUNDAMENTOS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA

2.8.1. Etapas de la fermentación metanogénica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

- Hidrólisis.



- Etapa fermentativa o acidogénica.
- Etapa acetogénica.
- Etapa metanogénica.

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H₂ y CO₂. (López M., 2011)

2.8.2. Hidrólisis

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos. (Varnero Moreno, 2011)

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la

composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis. (Varnero Moreno, 2011)

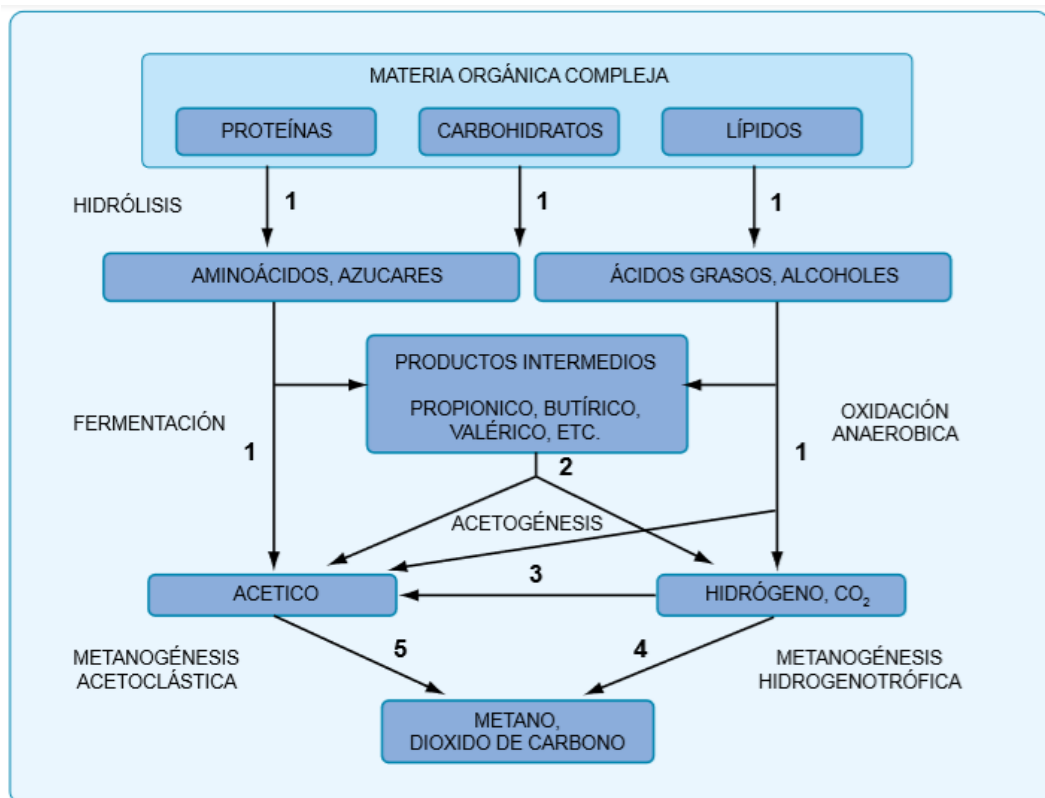


Figura 3: Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos

Fuente: (Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos.

Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas



proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso.

La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiasa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura. La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.3. Etapa fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico,



valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. (Varnero Moreno, 2011)

Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.4. Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. (Varnero Moreno, 2011)

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H_2/CO_2) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. (Varnero Moreno, 2011)



Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*. (Varnero Moreno, 2011)

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.5. Etapa metanogénica

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. (Varnero Moreno, 2011)

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. (Varnero Moreno, 2011)

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas.

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H_2/CO_2 y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas. (Varnero Moreno, 2011)



Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H₂ como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.6. Microorganismos involucrados en cada fase de digestión anaeróbica

Las especies de microorganismos involucrados en el proceso varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Los alcoholes, ácidos grasos, y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos. (Varnero Moreno, 2011)

Sin embargo, otros microorganismos también compiten por el nitrato como aceptor de electrones, por lo que el nitrato se reduce rápidamente a amonio y el nitrato como reductor juega un papel secundario en los procesos de fermentación. (Varnero Moreno, 2011)

Los reductores de sulfato participan activamente en la degradación de compuestos con poco oxígeno, tales como lactato y etanol.

En la primera y segunda fase de la degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies que se presentan principalmente son *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides* (Varnero Moreno, 2011).

En la tercera y cuarta fase de la degradación, se encuentran principalmente bacterias metanogénicas. En la actualidad, se han identificado 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes. (Varnero Moreno, 2011)

Además, existen diversos microorganismos que pertenecen al sistema ecológico de un biorreactor y que participan indirectamente en la degradación. Por ejemplo, *Staphylococcus*, especie se desarrolla con frecuencia en los digestores, puede provocar riesgos para la salud del personal que opera el digestor si no se toman las medidas sanitarias necesarias (Varnero Moreno, 2011).

Tabla 2: Bacterias que participan en el proceso de fermentación durante las cuatro fases.

TAXONOMIA	ESPECIES	DESCRIPCION	METABOLLISMO
Genero: Acetobakterium	A.woodii A.paludosum	El género Acetobacter comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcohol, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO ₂ , utilizando el hidrogeno como fuente de electrones . Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
Genero: Eubacterium	E.rectale E.siraeum E.plautii E.cylindroides E.brachy E.desmolans E.callandrei E.limosum	El género Eubacterium consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram-positivas.	La mayoría de las Eubakteriasacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

Fuente: (Insam, et al, 2009).



2.8.7. Bacterias que participan de la hidrólisis

Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: Bacteroides, Lactobacillus, Propioni- bacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megasphaera, Bifidobacterium

2.8.8. Bacterias que participan de la acidogénesis

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. (Varnero Moreno, 2011).

2.8.9. Bacterias que participan de la acetogénesis

Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h. (Varnero Moreno, 2011)

Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.10. Bacterias que participan de la metanogénesis

La última fase de la descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Estas se caracterizan a través del co-factor F420, el cual actúa en presencia de hidrogenasas como transportador de H₂. Este puede detectarse por su autofluorescencia en un microscopio óptico. (Varnero Moreno, 2011)

Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta



en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por *Methanobacterium*, *Methanospirillum bugati*, y *Methanosarcina*. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.11. Especies metanotróficas

Las especies metanotróficas (especies que consumen metano) se encuentran presentes en todas partes, pero no son deseables en una planta de producción de biogás. La mayoría de estos son aeróbicos. Estos microorganismos utilizan el oxígeno para degradar el metano y obtener su energía. Los productos metabólicos son el agua y el dióxido de carbono.

Los metanotróficos aeróbicos degradan aproximadamente el 17% de todo el metano en la atmósfera. Además de estos, existe otro grupo de metanotróficos, que es capaz de consumir metano, sin necesidad de oxígeno. Estos se encuentran en su mayoría en los sedimentos marinos. Los microorganismos metanotróficos sintetizan sus lípidos a partir del metano. (Varnero Moreno, 2011)

2.8.12. Beneficios ambientales de la biodigestión anaeróbica

Al igual que el gas natural, el biogás tiene una amplia variedad de usos, pero al ser un derivado de la biomasa, constituye una fuente de energía renovable. Existen diversos beneficios derivados del proceso de conversión de residuos orgánicos en biogás. (Varnero Moreno, 2011)

La presión económica sobre los productos agrícolas convencionales se encuentra en continuo aumento. Muchos agricultores se ven obligados a renunciar a su producción, principalmente debido a que sus tierras no presentan rendimientos rentables. Sin embargo, en muchos países la producción de biogás se encuentra subvencionada o presenta incentivos económicos (por ejemplo, los proyectos MDL), proporcionando a los



agricultores un ingreso adicional. Por lo tanto, en el sector agrícola, la implementación de tecnologías de digestión anaeróbica puede permitir obtener importantes beneficios económicos, ambientales y energéticos. Por otra parte, permite una gestión mejorada de nutrientes, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a la captura y uso de biogás. (Varnero Moreno, 2011)

Cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético como CO_2 y H_2O . Gran parte de la energía se pierde y se libera a la atmósfera. Se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico.

En el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético (por ejemplo, alcoholes, ácidos orgánicos y metano), los cuales sirven como nutrientes de otros organismos (alcoholes, ácidos orgánicos), o bien son utilizados con fines energéticos por la sociedad (biogás).

Otro beneficio ambiental importante de las plantas de biogás es la significativa reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de residuos orgánicos, e incluso se obtienen sub-productos con valor agregado (e.g. bioabono). Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Por otra parte, la digestión anaeróbica elimina el problema de emisión de olores molestos, como, por ejemplo, el olor a amoníaco, producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar. (Varnero Moreno, 2011)

La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos - varias granjas-, y de co-digestión -tratamiento conjunto de residuos orgánicos de



diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales- permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales.

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. La co-digestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro. (Varnero Moreno, 2011)

El metano es un gas que en la atmósfera terrestre contribuye al efecto invernadero. El contenido de metano en la atmósfera se ha duplicado desde la última era de hielo a $1,7 \text{ ml m}^{-3}$ en la actualidad. Este valor se ha mantenido constante en los últimos años. El metano contribuye un 20% al efecto invernadero antropogénico. Entre las fuentes de metano de origen humano, más del 50% corresponde a la ganadería y hasta el 30% provienen a partir del cultivo de arroz.

Con el fin de poder comparar el efecto de los diferentes gases de efecto invernadero, a cada uno se le asigna un factor que representa una medida de su efecto invernadero o potencial de calentamiento global, en comparación con el CO_2 que se utiliza como “gas de referencia”. El CO_2 equivalente de gases de efecto invernadero se puede calcular multiplicando el potencial de efecto invernadero en relación con la masa del gas respectivo. Indica la cantidad de CO_2 que produciría el mismo efecto invernadero en 100 años, es decir, el CH_4 es un gas de efecto invernadero más potente que el CO_2 en un factor de 21. (Varnero Moreno, 2011)

Tabla 3: Potencial de calentamiento de los gases de efecto invernadero.

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

Fuente: CNE, 2006.

2.9. FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO METANOGENICO (PRODUCCIÓN DE BIOGÁS)

Es importante examinar algunos de los factores importantes que gobiernan el proceso metanogénico. Los microorganismos, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales. Muchos investigadores evalúan el desempeño de un sistema anaeróbico en función de la tasa de producción de metano, porque la metanogénesis se considera un paso limitante del proceso. Debido a esto, la biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales. Algunas de estas condiciones ambientales son: temperatura (mesofílica o termofílica), tipo de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH (generalmente cercano a la neutralidad), toxicidad y condiciones redox óptimas. Estas condiciones se discuten a continuación:

2.9.1. Naturaleza y composición bioquímica de materias primas

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros.

Tabla 4: Residuos orgánicos de diversos orígenes.

Residuos de origen animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Haces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, coquetas, residuos de semillas.
Residuos forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivo acuáticos	Algas marinas, jacentos y malezas acuáticas.

Fuente: SA, R. (13 de Octubre de 2018). *Raig*. Obtenido de Raig S.A:
<https://www.raig.com/blog/que-es-un-datalogger-17/>

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores) (Varnero Moreno, 2011).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico.

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En el caso de estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que pueden intervenir en el proceso, que hacen difícil la comparación de resultados.

El contenido de agua de estas diversas materias primas varía entre 10 a 90% del peso fresco del residuo, dependiendo de la edad y órgano del residuo, formas de obtención. Los componentes orgánicos de estos residuos son variados y corresponden aproximadamente a un 50% del peso fresco, en función del contenido de agua y de las cenizas. Los principales grupos que se distinguen son, carbohidratos (50% del total de la materia orgánica seca), compuestos nitrogenados (20%), lignina (10 a 40%) y el resto fracciones como cera, resinas, grasas. La composición promedio de la materia orgánica seca es: 48%C; 44%O; 7%H; 2%N. Los minerales presentes como calcio, potasio, magnesio, fósforo, azufre y elementos trazas son del orden de 1 a 10% del peso seco.

Tabla 5: Composición química de diversos residuos de origen animal y vegetal (valores promedios, base seca).

Materia Prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Paja de trigo	1,10	2,10	65,45	21,60	3,53
Paja de centeno	9,62	5,42	59,95	12,70	12,31
Paja de arroz	2,35	12,26	30,51	10,61	12,55
Pasto verde	8,05	4,94	57,22	9,80	19,99
Alfalfa	10,41	12,81	36,79	8,95	10,30
Hojas secas	4,01	3,47	32,78	29,66	4,68
Caña maíz		4,50	35,40	10,30	6,50
Bovino	3,23	9,05	32,49	35,57	19,66



(continuación...)						
Porcino	11,50	10,95	32,39	21,49	23,67	
Aves	2,84	9,56	50,55	19,82	17,23	
Equino	2,70	5,00	40,50	35,00	17,80	
Ovino	6,30	3,75	32,00	32,00	25,95	
Caprino	2,90	4,70	34,00	33,00	26,40	

Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Tabla 6: Rango de niveles de nutrientes en diversos residuos de origen animal y vegetal.

MATERIA	C(%)	N(%)	P2O5(%)	K2O(%)	CAO(%)	MG0 (%)
PRIMA						
EXCRETAS						
BOVINO	17,4 -40,6	0,3-2,0	0,1 - 1,0	0.10	0.30	0.13
PORCINO	17,4 - 46,0	1,1 -2,0	0,4 -4,6	0.30	0.09	0.10
CAPRINO	30,0 -00,0	1,0 -2,0	0.2 -1,0	2.30		
EQUINO	30,0 - 02,0	0,3-0,8	0,4 - 1,6	0.30	0.15	0.12
OVINO	30,0 -46,0	0,3-0,6	0,3-1,0	0.15	0.33	
CONEJOS	23,0 -30,0	1,0 -1,9	0,9 - 1,8	2.10	0.45	0.10
AVES	28,0-30,0	1,4 -2,0	2,0 -2,8	1.40	0.80	0.48
PATOS	29,0 - 41,0	0,6 -0,8	1,0 -1,5	0.40	0.80	
PAVOS	17,4 -41,0	0,6 -0,8	0,5- 0,8	1.10	0.80	
HUMANAS	2.0	0,8-1,0	0,5	0.30		
MEZCLAS						
PORCINO-PAJA	20,0 -22,0	0,3-0,0	0.24	0.63	0.20	
OVINO-PAJA	44,0 -46,0	0,3-0,0	0.79	1.00	0.30	
RASTROJO:						
CAÑA MAÍZ	30,0 -40,0	0,8-1,8	0,4 -0,6	2.40	0.00	0.49
PAJA DE AVENA	22.0 -29,0	0,1!3	0.40	0.30	0.40	
PAJA DE CEBADA	08.0	0.64	0.19	1.07	0.33	0.33
PAJA DE ARROZ	40,0 -42,0	0.64	0.60	0.40	0.60	
PAJA HABAS	28,0 -33,0	1,0 - 1,9	0.40	2.30	1.30	

(continuación...)						
TOMATE	27,0 -30,0	2.60				
PAPAS	30.0	0.34	0.16	0.08	0.64	
BETARRAGA	30.0	2.00	0.70	0.30	1.95	0.83
RABANITOS	30.0	2.00				
HOJAS SECAS	30,0 -40.0	1.00	0.30	0.20	2.00	
ASERRIN	44,0	0,06	0,01	0,01		

Fuente: Varnero y Arellano, 1991

En términos generales, se pueden clasificar los sustratos en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO).

Tabla 7: Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica

Características	clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas
Sólido	1	Basura doméstica Estiercol Sólido Restos de Cosecha	>20% ST 40-70 % Fracción Orgánica
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	100-150g/IDQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos(ss)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado. Aguas residuales de mataderos.	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias. Aguas Negras.	5-18 g/L DQO 4-500 g/l DQO

Fuente: Esguerra, 1989

La degradación o descomposición de la materia orgánica es compleja y difícil de tratar en detalle, todos los problemas que se presentan. Simplificando esta situación, las fuentes carbonadas más utilizadas por los microorganismos quimiotróficos son los glúcidos o carbohidratos y de estos compuestos orgánicos, principalmente las hexosas, las cuales son degradadas por diferentes vías metabólicas. Los fragmentos que alimentan estos procesos cíclicos, por una parte, dan origen a cadenas carbonadas que participan en la formación de nuevas células microbianas y, al mismo tiempo, son usados en las oxidaciones y reducciones biológicas que están ligadas a la síntesis de moléculas ricas en energía. Si estos procesos tienen lugar en un medio con niveles de oxígeno ilimitado, corresponden a procesos de oxidación biológica o respiración aeróbica con desprendimiento de CO₂ y de energía equivalente a la mineralización total del substrato orgánico utilizado por los microorganismos. Si por el contrario, el nivel de oxígeno en el sistema es bajo, determinando condiciones anaeróbicas, corresponde a procesos de reducción biológica o fermentaciones. En este caso, la liberación de energía y desprendimiento de CO₂ son menores que la obtenida en la respiración aeróbica. Además, según el tipo de fermentación se desprenden otros gases como (Tabla 3.5) metano (CH₄), hidrógeno, o producción de otros compuestos como alcoholes, ácidos orgánicos, entre otros.

Tabla 8: Producción y composición teórica de biogás en diversos compuestos orgánicos.

Compuestos Orgánico	Formula Química	Biogás m ³ /Kg SV	CH ₄ M ³ /Kg ST
Carbohidratos	C ₆ H ₁₀ O ₅	0,75	0,37
Lípidos	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1,44	1,44
Proteínas	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	0,98	0,49

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011).

Por lo tanto, dependiendo de la composición bioquímica de cada materia prima, se tendrá una dinámica de producción de biogás.

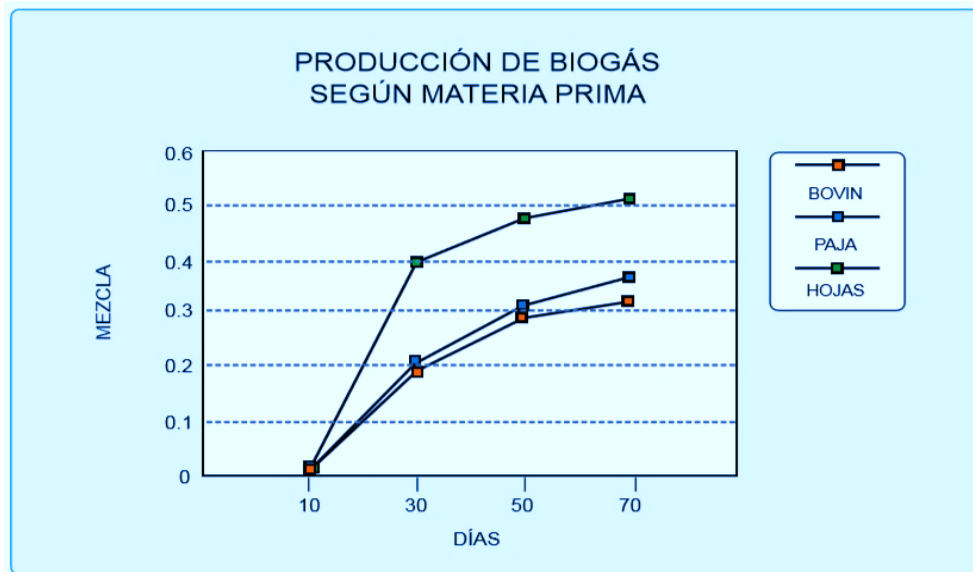


Figura 4: Producción de biogás según tipo de materia orgánica.

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

Tabla 9: Producción de biogás por tipo de residuo animal.

Estiercol	Disponibilidad kg/día*	Relacion C/N	Volumen de biogas	
			m3/Kg Humedo	m3/día/año
Bovino(500 Kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 Kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 Kg)	0.18	19;1	0.08	0.014
Ovino (32Kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino(50 Kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino(450 Kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo(3 Kg)	0.35	13;1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011).

* El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto.

Tabla10: Producción de biogás a partir de residuos vegetales.

Residuos	Cantidad Residuo Ton/ha	Relacion C/N	Volumen de biogas	
			m3/Ton	m3/ha
Cereales (paja)				
Trigo	3.3	123:1	367	1200
Maiz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
Tuberculo(hojas)				
Papas	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
Leguminosas (paja)				
porotos	3.2	38:1	518	1650
habas	4.0	29:1	608	1400
Hortalizas(hojas)				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011).

2.9.2. Relación carbono/nitrógeno de las materias primas

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica. La calidad y la cantidad del biogás producido dependerán de la composición y la naturaleza del residuo utilizado. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las metanobacterias, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes (Varnero Moreno, 2011).

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1

La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la



falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

En términos generales, se considera que una relación C/N óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, C/N = 30/1. Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas.

Sobre la base del contenido de carbono y de nitrógeno de cada una de las materias primas, puede calcularse la relación C/N de la mezcla aplicando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{C1 * Q1 + C2 * Q2 + \dots Cn * Qn}{N1 * Q1 + N2 * Q2 + \dots Nn * Qn} \dots \dots \dots (1)$$

K = C/N de la mezcla de materias primas.

C = % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

N = % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

Q = Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

Desde el punto de vista práctico es aconsejable manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V) a partir de la fórmula:

D = M/V, expresando la masa en kilos o toneladas y el volumen en litros o metros cúbicos.

Tabla 11. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.

Materiales	%C	%N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
Pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja de arroz	42	0.63	67:1
Paja de avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

2.9.3. Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles

Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen

funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Tabla 12: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.

Materias Primas	% solidos totales
Residuos animales	13.4-56.2
Bovinos	13.4-56.2
Porcinos	15.0-49.0
Aves	26.0-92.0
Caprinos	83.0-92.0
Ovejas	32.0-45.0
Conejos	34.7-90.8
Equinos	19.0-42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0-90.0
Paja arroz	88.8-92.6
Leguminosas(paja)	60.0-80.0
Tubérculos (paja)	10.0-20.0
Hortalizas(hojas)	10.0-20.0
aserrín	74.0-80.0

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

Por ejemplo, en el caso del estiércol de bovino fresco, suponiendo que tiene un 20% de sólidos totales y se quiere diluir esta carga a un 5% de sólidos totales, para saber cuánta agua se debe agregar por kilo de excretas frescas, se realiza el siguiente cálculo:

$$\% S.T. (carga diluida) = \frac{1kg \text{ excreta} * \% S.T. \text{ excreta fresca}}{1kg \text{ excreta fresca} + \text{agua agregada}}$$

$$0.05 = \frac{1 * 0.20}{1 + W \text{ agua}}$$

$$0.05 + 0.05W \text{ agua} = 0.20$$

$$W \text{ agua} = \frac{0.15}{0.05} = 3 \text{ litros/kg excreta fresca}$$



Sólidos Volátiles (S.V.). Es aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C.

Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano.

2.9.4. 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 de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos, psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μ_{max}) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación.

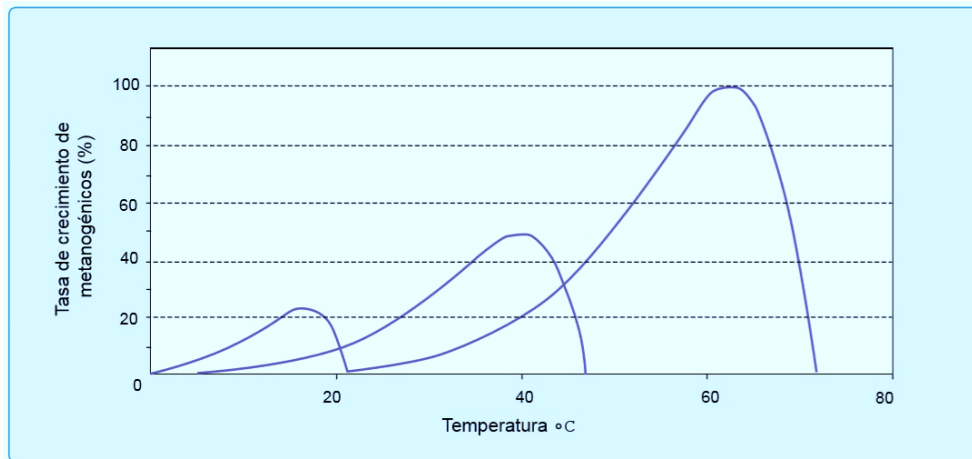


Figura 5: Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos.

Fuente: (Speece , 1996).

Tabla 13: Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica.

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrófilica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesófilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	Sobre 30-60 días
Termófilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	Sobre 10-15 días

Fuente: (Lagrange, 1979).

Hasta el momento, el rango psicrófilico ha sido poco estudiado y, en general, se plantea como poco viable debido al gran tamaño del reactor necesario. Sin embargo, presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura de operación.

El régimen mesófilico de operación es el más utilizado, a pesar de que en la actualidad se está implementando cada vez más el rango termófilico, para conseguir una mayor velocidad del proceso, lo que implica, a la vez, un aumento en la eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el régimen termófilico suele ser más inestable a cualquier cambio de las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos a elevadas

temperaturas, como el nitrógeno amoniacal o los ácidos grasos de cadena larga. Como regla general, la actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima. Para un óptimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C /día.

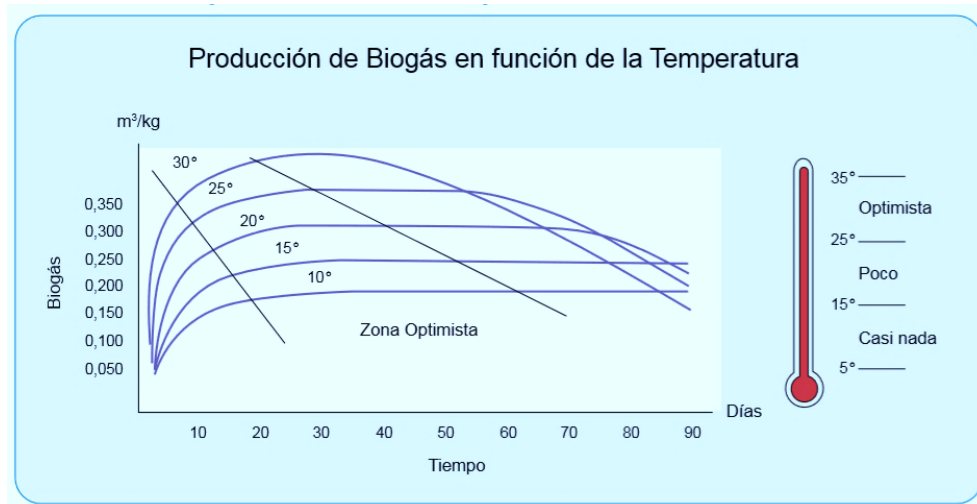


Figura 6: Producción de biogás en función de la temperatura.

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

Una técnica interesante es la combinación de dos fases de digestión, una primera termofílica de elevada carga orgánica y una segunda mesofílica con menor carga. Con este sistema se aprovechan las ventajas del sistema termofílico, pero se reducen los problemas de inestabilidad. (Varnero Moreno, 2011)

La temperatura del proceso actúa también sobre aspectos físico-químicos del mismo. La solubilidad de los gases generados desciende al aumentar la temperatura, favoreciéndose la transferencia líquido-gas. Esto supone un efecto positivo para gases tales como NH₃, H₂ y H₂S, dada su toxicidad sobre el crecimiento de los microorganismos anaeróbicos. Una posible desventaja de este fenómeno es que el descenso de la solubilidad del CO₂ provocaría un aumento del pH, lo que generaría, en



lodos de elevada concentración de amonio, posibles situaciones de inhibición por NH_3 . (Varnero Moreno, 2011)

Por otra parte, la solubilidad de la mayoría de las sales aumenta con la temperatura de manera que la materia orgánica es más accesible para los microorganismos aumentando así la velocidad del proceso. Sin embargo, si se trata de compuestos tóxicos, al aumentar su solubilidad con la temperatura serán potencialmente más tóxicos, lo que puede explicar parcialmente la mayor inhibición de determinados compuestos orgánicos en el rango termofílico, como los ácidos grasos (AG) de cadena larga. (Varnero Moreno, 2011)

Además, la temperatura influye directamente en determinados equilibrios químicos, con gran influencia sobre el proceso anaerobio, como los del amonio-amoniaco libre o ácidos grasos volátiles (AGV) ionizados-no ionizados. En general, con la temperatura se favorecen las formas no ionizadas, que resultan más tóxicas para los microorganismos (NH_3 y AGV- no ionizados). Por último, la viscosidad de sólidos y semisólidos disminuye al aumentar la temperatura lo que implica menores necesidades de agitación. (Varnero Moreno, 2011)

2.9.5. Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor. La materia orgánica o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la materia seca (MS) o sólidos totales (ST), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores

a 550°C. Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados. (Varnero Moreno, 2011)

La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS o SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura. (Varnero Moreno, 2011)

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional.

Tabla 14: Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones.

Tiempo de retención hidráulico	características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas. En Indonesia, Venezuela, América central
40-60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos en India, Filipinas, Etiopía.
60-90 días	Clima temperado con inviernos. En China, Corea, Turquía.

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

En un digestor que opera a régimen estacionario o “discontinuo”, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga.



En un sistema de carga diaria (régimen semicontinuo), el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación:

$$\text{Volumen de carga diaria} \frac{m^3}{\text{día}} = \frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}}$$

Es decir que, para un tiempo de retención de 30 días, cada día se carga 1/30 del volumen total del digestor, y en promedio los residuos orgánicos y la masa microbiana permanecen 30 días dentro del sistema. La cantidad de biogás producido por un digestor dependerá, entre otros, de la cantidad de residuo cargado diariamente. Generalmente se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y con cargas diarias de 1 a 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor. Por lo tanto, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y también los costos. (Varnero Moreno, 2011)

Existe otro parámetro para identificar el tiempo de retención de las sustancias en el digestor, denominado Tiempo de Retención de los Sólidos Biológicos (TRSB), el que se determina como la relación entre la cantidad de MO o SV que entra al digestor y la cantidad de MO o SV que sale del sistema cada día. El TRSB es asumido para representar la media del tiempo de retención de los microorganismos en el digestor. (Varnero Moreno, 2011)

Estos parámetros son importantes para los digestores avanzados de alto nivel, los cuales han alcanzado un control independiente del TRSB y del TRH a través de la retención de la biomasa. La medición del TRH es más fácil y práctico que el TRSB al nivel de las granjas.



La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el TRH, ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia. (Varnero Moreno, 2011)

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos.

En los sistemas de mezcla completa, el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincide con el celular, por lo que el tiempo de retención deberá ser suficientemente largo como para asegurar el crecimiento de la población bacteriana. Al aumentar el TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada, así como la producción de metano, aunque este último valor comenzará a disminuir una vez alcanzado el óptimo. El tiempo de retención usual en el rango mesofílico para lodos de depuradora está entre 15 y 20 días, aunque este valor depende mucho del tipo de reactor utilizado.

La velocidad de carga orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida diariamente en el reactor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración de sustrato y del tiempo de retención fijado. En ausencia de inhibidores, altas cargas orgánicas proporcionan altas producciones volumétricas de biogás, aunque también aumenta el riesgo de sobrecargas puntuales que conllevan a la acidificación del reactor.



2.9.6. Rangos de pH y alcalinidad

El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo). Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal.

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digester no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. Los acidogénicos son significativamente menos sensibles a valores más extremos de pH.

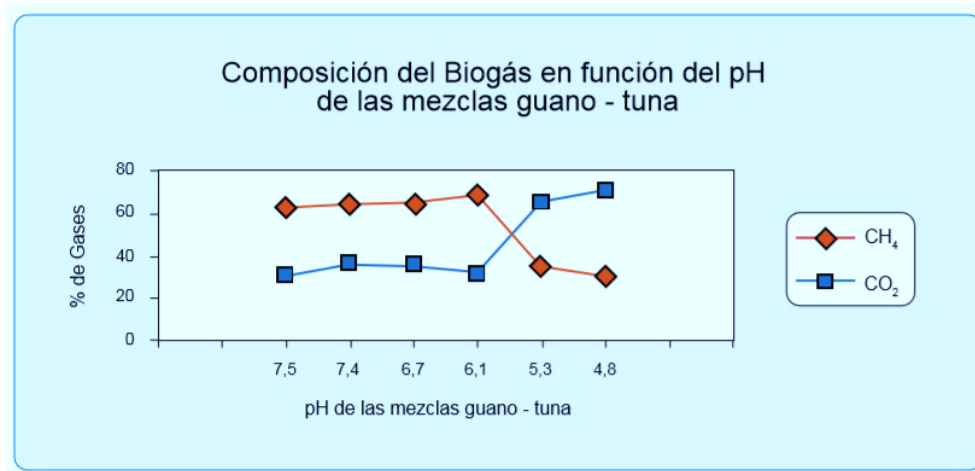


Figura 7: Composición del biogás en función del pH de la mezcla de materias primas

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

Los valores de pH bajos reducen la actividad de los microorganismos metanogénicos, provocando la acumulación de ácido acético y H₂. Al aumentar la presión parcial del H₂, las bacterias que degradan el ácido propiónico serán severamente inhibidas, causando una excesiva acumulación de ácidos grasos volátiles de alto peso molecular, particularmente ácidos propiónico y butírico, los cual disminuirá la producción de ácido acético, generando una disminución del pH. Si la situación no se corrige, el proceso eventualmente fallará.

Por otra parte, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácido-base del amoníaco y del ácido acético: Al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que, en elevadas concentraciones, es inhibitor del crecimiento microbiano y a valores de pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato.

La actividad metanogénica (tasa de utilización de acetato) versus pH.

La drástica caída de la actividad metanogénica sobre el pH 8.0 se puede deber a cambios de NH_4^+ a formas más tóxica no iónicas de NH_3 .

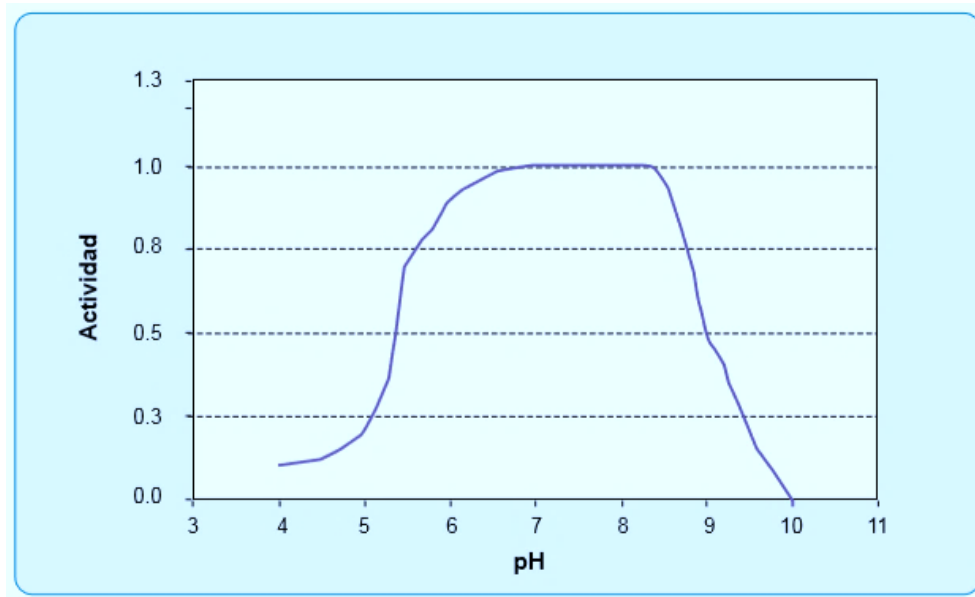


Figura 8: Dependencia del pH de la actividad metanogénica.

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011).

En los procesos anaeróbicos, la caída del pH es causada frecuentemente por la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) y/o por la excesiva acumulación de dióxido de carbono. Una de las primeras opciones para resolver el problema es reducir la tasa de carga orgánica volumétrica, hasta el punto en el cual los AGV se consuman más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV se ha agotado, el pH del sistema retorna a los rangos de operación normales y la metanogénesis comienza a repuntar.

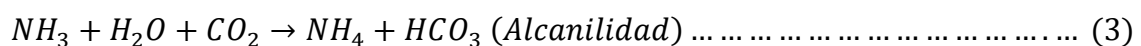
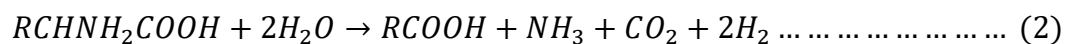
La carga orgánica volumétrica puede incrementarse gradualmente a medida que el proceso se recupera, hasta completar la capacidad de carga. En circunstancias extremas, además de la disminución de la carga orgánica volumétrica se puede suplementar algún químico para ajustar el pH. Otra opción recientemente explorada consiste en la



dosificación periódica de oxígeno en el sistema anaeróbico. La oxigenación limitada contribuye a eliminar drásticamente el exceso de AGV a través de los microorganismos facultativos. Estos microorganismos son menos susceptibles a cambios en el pH. Debido a que los metanogénicos son vulnerables a cambios bruscos en el pH fuera del rango óptimo, el sistema anaeróbico requiere una capacidad buffer suficiente (alcalinidad) para mitigar los cambios en el pH.

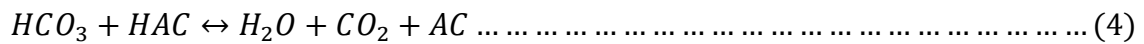
El pH de un sistema anaeróbico, operando dentro de los rangos aceptables, es controlado principalmente por la alcalinidad natural del sistema. La destrucción de la materia orgánica,

principalmente las proteínas, liberan amoníaco. Cada mol de nitrógeno orgánico teóricamente genera un equivalente de alcalinidad. El amoníaco reacciona con el dióxido de carbono durante una reacción bioquímica para producir bicarbonato de amonio, el cual contribuye a la alcalinidad del sistema, tal como muestran las siguientes ecuaciones:



Sólo los residuos que presentan altos contenidos de nitrógeno orgánico (e.g. proteínas) pueden contribuir adecuadamente a la alcalinidad. Muchos residuos ricos en carbohidratos (e.g. melasa, papa, almidón) no contribuyen a la alcalinidad porque carecen de nitrógeno orgánico. Por lo tanto, la digestión anaeróbica de aquellos residuos orgánicos requiere la suplementación de alcalinidad.

Cuando los AGV comienzan a acumularse en el reactor anaeróbico, estos son neutralizados por la alcalinidad presente en el reactor y mantienen el pH estable tal como se muestra en la siguiente ecuación:



En muchos casos, para mantener el pH óptimo en el reactor, es necesaria la suplementación de alcalinidad utilizando químicos tales como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoniac, cal, hidróxido de sodio y potasio. Se prefiere el bicarbonato de sodio debido a su alta solubilidad y baja toxicidad.

Es importante considerar que en forma frecuente, el pH se utiliza como un parámetro para evaluar la correcta operación del sistema. Sin embargo, debido a que el efluente entra en contacto con el ambiente, los cambios en la presión parcial de los gases ácidos disueltos, especialmente el CO₂, resulta en cambios en el pH.

El nivel de pH deseado para la operación del digestor se puede conseguir ajustando el pH de las materias primas que entran al digestor o controlando el pH en el digestor per se. Para conseguir el pH deseado, se requiere conocer la cantidad de químicos necesarios que se deben adicionar a las materias primas que entraran al digestor, en tanto que, en el último caso, tal conocimiento previo no se requiere. El reactor generalmente es monitoreado con un medidor de pH online conectado a un controlador. El pH deseado se programa y la adición de químicos (ácido o base) se lleva a cabo de forma automática. Aunque este tipo de control automatizado del pH es altamente deseable, es un sistema bastante costoso.

2.9.7. Nutrientes (niveles de sales)

Al igual que en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. Sin embargo, una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los procesos aeróbicos, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos



anaeróbicos. La cantidad de nitrógeno y fósforo requerido para la síntesis de biomasa puede calcularse asumiendo la fórmula empírica de una célula bacteriana anaeróbica como $C_5H_7O_2N$. La masa celular consiste de aproximadamente 12% de nitrógeno, lo cual significa que unos 12 g de nitrógeno se requieren por cada 100 g de biomasa anaeróbica producida.

La demanda de fósforo corresponde a $1/7 - 1/5$ de la demanda de nitrógeno. Como regla general, se asume que un 10 % de la materia orgánica removida (DQO) durante el proceso anaeróbico se utiliza para la síntesis de biomasa. Esto puede utilizarse para calcular los requerimientos de nitrógeno y fósforo.

Además del **nitrógeno** y el **fósforo**, se han identificado otros diversos nutrientes traza como esenciales para los microorganismos anaeróbicos. Los metales traza tales como hierro, cobalto, molibdeno, selenio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, tungsteno y boro a niveles de mg /L y la vitamina B12 en niveles de $\mu\text{g/L}$, se ha encontrado que mejoran la producción de metano. Alguno de los metales traza y sus roles en el proceso anaeróbico se discuten a continuación:

Níquel: el Ni es particularmente importante para los metanogénicos debido a que es un constituyente estructural del factor F430, el cual se encuentra exclusivamente en las bacterias metanogénicas.

Cobalto: El Co es importante debido a que también es un constituyente estructural de la vitamina B12, la cual cataliza la metanogénesis. El níquel, cobalto y otros minerales traza son esenciales para la degradación del metanol en un reactor bajo condiciones mesofílicas.



2.9.8. Potencial redox

Para adecuado crecimiento de los anaeróbios obligados el valor del potencial redox se debe mantener entre -220 mV a -350 mV a pH 7.0 de manera de asegurar el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad. Cuando se cultivan metanogénicas, se incorporan agentes reductores fuertes tales como sulfuro, cisteína o titanio III para ajustar el medio a un potencial redox adecuado. (Varnero Moreno, 2011)

2.9.9. Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos. Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado. Es interesante destacar que muchas de las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos refractarios. (Varnero Moreno, 2011).

2.9.10. Hidrógeno.

El hidrógeno es también un compuesto intermedio importante del proceso anaeróbico. Su acumulación en el medio provoca la inhibición de la acetogénesis y, consecuentemente, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono. (Varnero Moreno, 2011)

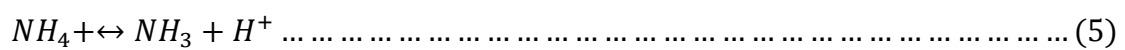
2.9.11. Nitrógeno amoniacal

El amoniaco puede estar presente en las materias primas que entran al digestor o ser producido durante la degradación anaeróbica de compuestos orgánicos nitrogenados



tales como proteínas o aminoácidos. Las proteínas generalmente contienen 16% de nitrógeno. Durante el proceso anaeróbico, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento.

El nitrógeno amoniacal es la suma del ión amonio (NH_4^+) y del amoníaco (NH_3). Ambas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada una depende del pH, tal indica la ecuación de equilibrio:



De las dos especies, la que parece inhibir el proceso es el amoníaco libre ya que se ha comprobado experimentalmente que el efecto inhibitorio por amonio aumenta a pH alcalino. Además del pH, la cantidad de amoníaco libre depende de la concentración del sustrato, de la relación C/N, de la capacidad taponadora del medio y de la temperatura de digestión. Obviamente, aquellos residuos que contengan mayores proporciones de proteínas u otros compuestos nitrogenados son los que presentan más problemas de inhibición por amonio. Se ha reportado que los digestores que operan a mayores temperaturas son más sensibles a la toxicidad por amonio que aquellos que operan en el rango termofílico. (Landeros Gutiérrez & Sánchez Sánchez, 2012)

Tabla 15: Concentración de amoníaco y su efecto en el proceso de digestión anaeróbica

Amoníaco-N(mg/L)	Efectos
50-100	Beneficios
200-1000	Sin efectos adversos
1500-3000	Efectos inhibitorios a niveles de PH altos
Sobre 3000	Toxico

Fuente: (Mc Carty, 1964).



2.9.12. Sulfatos y sulfuros.

La presencia de elevadas concentraciones de sulfato en el sustrato puede producir la inhibición del proceso anaeróbico, especialmente de la metanogénesis. En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrógeno), mostrando éstas últimas ventajas termodinámicas y cinéticas sobre las primeras. El resultado de esta competencia determinará la proporción de ácido sulfhídrico y metano en el biogás producido. (Varnero Moreno, 2011)

2.9.13. Cationes y metales pesados.

Los cationes de metales alcalinos y alcalino-térreos tienen un efecto estimulador de la actividad de las bacterias a bajas concentraciones.

Los niveles de inhibición varían mucho en función de varios factores. Si la introducción del catión en el reactor se produce de forma gradual, los microorganismos pueden aclimatarse y el efecto tóxico es menor. Los metales solubles representan mayores problemas para el proceso que las formas insolubles. La presencia de sulfuros también disminuye la toxicidad de metales mediante la formación de sulfuros de metal insolubles (con excepción de cromo), los cuales precipitan, pudiendo llegar a tolerarse elevadas concentraciones de metales pesados en estos casos. Aproximadamente 0.5 mg de sulfuro es necesario para precipitar 1.0 mg de metal.

Cuando se presentan combinaciones de estos cationes, el efecto que se produce es más complejo. Algunos actúan antagonicamente, reduciendo la toxicidad, y otros actúan sinérgicamente aumentándola. (Varnero Moreno, 2011)

2.9.14. Otros inhibidores

Debido a que la etapa de fermentación metánica tiene etapas realizadas por microorganismos estrictamente anaeróbicos, el oxígeno es un tóxico más del proceso.

Concentraciones del orden de 1 $\mu\text{g/l}$ son inhibitoras. Otros inhibidores del proceso son el pH, determinadas sustancias orgánicas como ácidos grasos de cadena larga y alcoholes, en elevadas concentraciones, y la presencia de desinfectantes y antibióticos. En la Tabla 16 se presentan valores de concentraciones de ciertos inhibidores comunes. Estos valores se deben tomar como orientativos, puesto que las bacterias anaeróbicas presentan la capacidad de adaptarse después de un período de tiempo a condiciones que en un principio las afectaba severamente. (Varnero Moreno, 2011)

Tabla 16: Concentración inhibitora de sustancias en un proceso anaeróbico

Inhibidores	Concentración inhibitora
SO	5000 ppm
NaCL	4000 ppm
NO ₃	0.05 mg/ml
Cu	100mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500mg/l
CN	25 mg/l
Na	3500-5500 mg/l
K	2500-4500 mg/l
Ca	2500-4500 mg/l
Mg	1000-1500 mg/l

Fuente: (Gene y Owen, 1986).

2.9.15. Promotores de la metanogénesis (inoculantes biológicos)

El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica, donde pueden distinguirse claramente tres etapas.

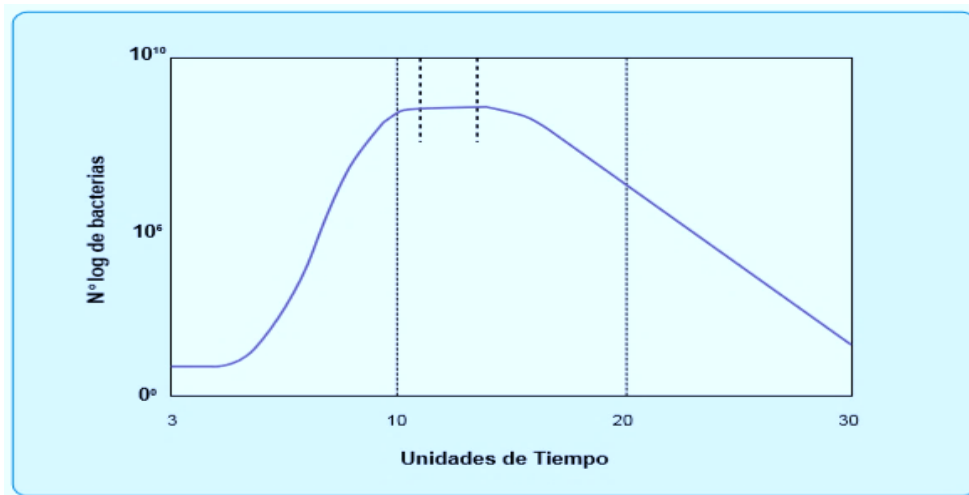


Figura 9: Crecimiento microbiano dentro de un digestor anaeróbico.

Fuente: Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias metanogénicas que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente. De esta forma se alcanza en forma más rápida, la etapa de estabilización, con lo cual, puede incrementarse la producción de biogás por kg de estiércol. Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad del inóculo, mayor será la eficacia. (Varnero Moreno, 2011)

2.9.16. Agitación - Mezclado

Los objetivos buscados con la agitación son: remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica que reducirían el volumen efectivo del reactor y prevenir la formación de espumas y la sedimentación en el reactor. (Varnero Moreno, 2011)



En la selección del sistema, frecuencia e intensidad de la agitación se debe considerar que el proceso anaeróbico involucra un equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias. La ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una merma en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de biogás.

La agitación aumenta la producción de gas y disminuye el THR, esto es básicamente por cuatro razones:

- Distribución uniforme de la temperatura y sustrato en el interior del biodigestor.
- Distribución uniforme de los productos, tanto intermedios como finales.
- Mayor contacto entre el sustrato y las bacterias, evitando la formación de cúmulos alrededor de las bacterias.
- Evitar la acumulación de lodo en la parte superior del digestor, también llamada “nata” o “espuma” que dificulta la salida del biogás.

Se distinguen 3 tipos de agitación, estas son:

- Mecánica: a través de agitadores manuales o con motores eléctricos.
- Hidráulica: a través de bombas de flujo lento se hace recircular la biomasa.
- Burbujeo de biogás: se recircula el biogás producido al fondo del biodigestor por medio de cañerías, para producir burbujeo y de esta manera movimiento de la biomasa

2.10. El biogás y la calidad de vida

El establecimiento de los biodigestores en las granjas familiares trae consigo un gran número de beneficios a los productores, pues el biogás producido puede usarse para



obtener electricidad, tal como ha sucedido en varias granjas de Estados Unidos. (Landeros Gutiérrez & Sánchez Sánchez, 2012)

Ya enterados, los fuegos fatuos pueden continuar alimentando nuestra imaginación por siglos, siempre y cuando también alimenten a nuestras estufas, motores y generadores eléctricos, en pos de que logremos una tecnología menos agresiva hacia la naturaleza y más justa hacia la sociedad. (Landeros Gutiérrez & Sánchez Sánchez, 2012)

2.11. BIODIGESTOR Y ELECTRÓNICA

2.11.1. Obtención de datos de biodigestor

2.11.1.1. Datalogger

Un datalogger es un dispositivo digital para el registro y almacenamiento de datos. Pueden ser datos meramente informáticos o bien registros de variables meteorológicas o ambientales. Es este caso el que más interés nos despierta.

Un datalogger almacena de forma continuada una serie de parámetros ambientales, para los que está programado. El mismo datalogger también puede actuar como sensor o registrador de datos o bien puede ser simplemente un dispositivo de almacenamiento de datos que han registrado otros sensores. Este dispositivo puede estar o no conectado a un equipo informático base para proceder a la descarga de los datos almacenados. (SA, 2018)

Estos dispositivos se usan con mucha frecuencia para el control meteorológico y ambiental.



Figura 10: Datalogger para medir variables meteorológicas.

Fuente: SA, R. (13 de Octubre de 2018). *Raig*. Obtenido de Raig S.A:
<https://www.raig.com/blog/que-es-un-datalogger-17/>

Usos

Los dataloggers meteorológicos y ambientales tienen un gran campo de uso.

Los dataloggers meteorológicos nos sirven para el almacenamiento de datos captados por las estaciones meteorológicas automáticas. Estos equipos son básicos para la observación meteorológica moderna y para los estudios climáticos. También son las herramientas clave para poder consultar los datos meteorológicos en tiempo casi-real. (SA, 2018)

Los dataloggers ambientales nos sirven para el control de las condiciones de temperatura y humedad en espacios interiores o en puntos concretos de observación. Su uso está muy extendido en espacios de procesamiento y conservación alimentaria y también en museos, oficinas o centros de conservación de bienes documentales y archivos. (SA, 2018)

2.11.2. Indicadores visuales

2.11.2.1. Pantalla LCD

Los LCD alfanuméricos más utilizados en el mercado son el LCD1602 y el LCD204 con tamaños de 16x2 y 20x4 caracteres respectivamente. Entre estos tamaños también hay diferentes modelos los cuales varían en color y sobretodo en la presencia o no de un Backlight (retro iluminador incorporado).



Figura 11: Pantalla LCD 20X4

Fuente: [www. Waveshare.com](http://www.waveshare.com) (2017)

El LCD tiene una memoria interna en donde almacena todos sus caracteres alfanuméricos, los cuales podemos extender en ocho caracteres personalizados adicionales.

Los caracteres soportados por la mayoría de modelos de LCD son los siguientes:

Higher Lower 4bit 4bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B
xxxx0001		!	@	#	\$	%	&	'	()	*	+	,
xxxx0010		"	#	\$	%	&	'	()	*	+	,	.
xxxx0011		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B
xxxx0100		\$	%	&	'	()	*	+	,	.	:	;
xxxx0101		%	&	'	()	*	+	,	.	:	;	<
xxxx0110		&	'	()	*	+	,	.	:	;	<	=
xxxx0111		'	()	*	+	,	.	:	;	<	=	>
xxxx1000		()	*	+	,	.	:	;	<	=	>	?
xxxx1001)	*	+	,	.	:	;	<	=	>	?	0
xxxx1010		*	+	,	.	:	;	<	=	>	?	0	1
xxxx1011		+	,	.	:	;	<	=	>	?	0	1	2
xxxx1100		,	.	:	;	<	=	>	?	0	1	2	3
xxxx1101		.	:	;	<	=	>	?	0	1	2	3	4
xxxx1110		:	;	<	=	>	?	0	1	2	3	4	5
xxxx1111		;	<	=	>	?	0	1	2	3	4	5	6

Figura 12: Carácter es soportados por una LCD 20X4

Fuente: Mechatronics, N. (12 de setiembre de 2020). Naylamp Mechatronics SAC. Obtenido de https://www.naylampmechatronics.com/blog/34_Tutorial-LCD-conectando-tu-arduino-a-un-LCD1.html



Para la comunicación del LCD y un controlador utiliza un bus de 8 datos, pero se puede configurar para trabajar con un bus de 4 datos. También usa pines de control RS (chip select) RW (lectura/escritura) y E (enable).

Para controlar el contraste usa una entrada analógica VEE el cual por lo general se usa un potenciómetro para poder variar el contraste, y los LCD q traen Backlight tiene dos pines al final Led+ (A) y Led- (K) los cuáles se pueden alimentar directamente a 5V o a través de una resistencia si se tratase de un LED, variando su resistencia se puede variar la intensidad de luz. (Mechatronics, Naylamp Mechatronics SAC, 2020)



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El inicio de la investigación fue con la recolección de información de distintas fuentes web, revistas, informes, Blogs, tesis, repositorios institucionales, etc. Así como conocimientos previos adquiridos en la escuela profesional de ingeniería electrónica.

Para la implementación del prototipo se usó manuales de distintas revistas y páginas de la Web. Posteriormente se hizo uso de fichas técnicas de distintos fabricantes de componentes y accesorios además de materiales necesarios para su implementación.

Una vez implementada se hizo la prueba de funcionamiento del prototipo.

3.1.TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

Es del tipo Descriptivo, porque se fundamenta a partir de las actividades metódicas, técnicas y formulaciones establecidas, así como también es Empírico porque está basado en la experiencia y en la observación de los hechos. (Hernandez Sampieri, 2014)

3.1.2. Enfoque de la investigación

La investigación es de enfoque cualitativo debido a que la manera de llegar a las hipótesis no requiere de material estadístico, solo es suficiente con la observación para su validación. (Hernandez Sampieri, 2014)

3.1.3. Diseño de investigación

Es “descriptivo”, debido a que se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas, es decir se busca especificar las propiedades importantes del fenómeno que se ha sometido a análisis. (Hernandez Sampieri, 2014)

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Población

La población de nuestra investigación será la cantidad total de las mediciones realizadas en la etapa de prueba del prototipo de un biodigestor implementado durante esta investigación; dicha prueba consta de un total de un mes (30 días) tiempo en el que se obtuvo los datos de distintos parámetros cada 5 minutos realizándose así un total de 8 640 mediciones en total.

3.2.2. Muestra

La muestra de población en esta investigación debe ser no menor de la requerida según la cantidad de la población a investigarse para esto se tomará en cuenta la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \dots \dots \dots (6)$$

Donde; n; Tamaño de muestra buscado

N; Tamaño de la población o Universo

Z; Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)

e; Error de estimación máximo aceptado

p; Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q; (1-p) Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Según el resultado obtenido la muestra debe ser por lo menos 692 muestras; a partir de esto podemos tomar la cantidad de datos de nuestra población para poder ser estudiado.

Para nuestro caso tomaremos los datos de 1 medición cada 1 hora que dará un total de 720 número de mediciones.

Tabla 17: Muestras tomadas.

	Cada min.	X hora	X día	X mes
Mediciones	60	1	24	720

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.3. TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

3.3.1. Procedimiento inicial del proceso

Para el ensayo de la producción de biogás se prosiguió de la siguiente metodología.

3.3.2. Información básica

Se recopiló la información de la investigación empleando equipos e instrumentos de medición de datos, parámetros físicos que así nos permitió medir las variables del proceso.

Tabla 18: Equipos utilizados en el proceso de la investigación.

ÍTEM	EQUIPOS Y/O INSTRUMENTOS	UNIDAD	PARAMETRO
01	Sensor de temperatura DS18B12 -50°C a 125°C	C°	Medición de temperatura
02	Sensor de presión MPX4250 RANGO DE PRESIÓN DIFERENCIAL: 0 A 250 KPA (0 A 36,3 PSI)	PSI	Sensor de presión y volumen del biogás



(continuación...)

03	Arduino MEGA	Procesamiento de señales	Es el cerebro para evaluar indicadores y controlar en proceso
04	Electroválvulas 12v	Control de flujo de gas	El encargado de controlar la entrada y salida del gas

Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 19: Técnica para la recolección de datos.

METODO	TECNICA	INSTRUMENTO
Descriptivo	Observación	Reportes de Datalogger
Aplicativo	Implementada	Experimentación

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la investigación se implementó un prototipo de generación de Biogás por el cual se obtendrá biogás para uso doméstico.

3.4.DISEÑO DEL BIODIGESTOR

3.4.1. Diseño Mecánico



Figura 13. Esquema para el diseño Mecánico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.4.2. Sistema de digestión

Este sistema es el encargado de almacenar el sustrato durante el proceso de metanización o fermentación, está conformado por:

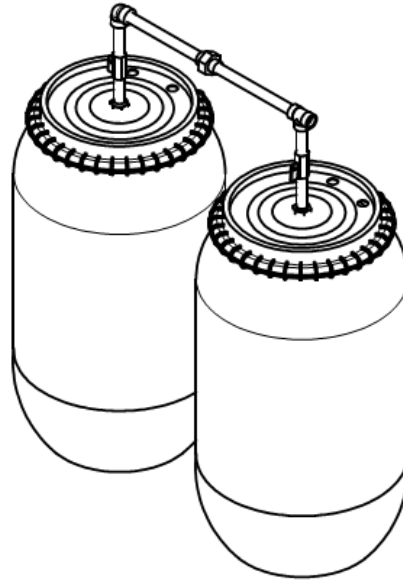


Figura 14: Diseño del sistema de digestión.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.4.3. Sistema de almacenamiento de biogás

3.4.4. Accesorios

Los accesorios que componen el sistema consisten tanto en accesorios hidráulicos y electrónicos:

➤ Accesorios Hidráulicos

❖ Niples

Son tuberías cortadas en pequeñas dimensiones pueden ser con rosca o que sean de unión Simple Presión (SP). Estos accesorios serán usados en la construcción de las vías de salida fluido del biodigestor hacia los tanques de almacenamiento del biogás.

❖ Codo

Accesorio hidráulico ya sea con rosca o de SP que conecta del niple del tanque 1 hacia la unión universal su dimensión es de ½" (pulgada) de diámetro de material pvc.

❖ Unión universal

La unión universal es usada en instalaciones Hidráulicas para facilitar las conexiones en donde requiere enroscar y la situación de la instalación no le permite. Por ejemplo, en nuestra instalación será necesario porque la el Codo no podrá girar si el otro extremo se encuentra ajustado.

➤ Accesorios Electrónicos

Entre accesorios electrónicos instalados en la estructura mecánica tenemos las siguientes.

❖ Electroválvulas

Se usará para realizar la apertura y cierre de las vías por donde circulan el fluido (en este caso el biogás) esta operación se realizará con el fin de intercambiar los tanques de almacenamiento de biogás lleno por uno vacío, para posteriormente ser llenado.

3.4.5. Diseño electrónico



Figura 15: Esquema de diseño electrónico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

El sistema electrónico consiste de modo que los sensores serán instalados internamente en el tanque de lodos o materia orgánica será donde se harán las mediciones de presión, pH y temperatura datos que serán obtenidos mediante sensores y serán almacenados en un módulo de almacenamiento SD.

El sistema funciona de tal modo que cuando exista una presión mayor a los 25 PSI entonces se apertura y cierran las electroválvulas según los programado.

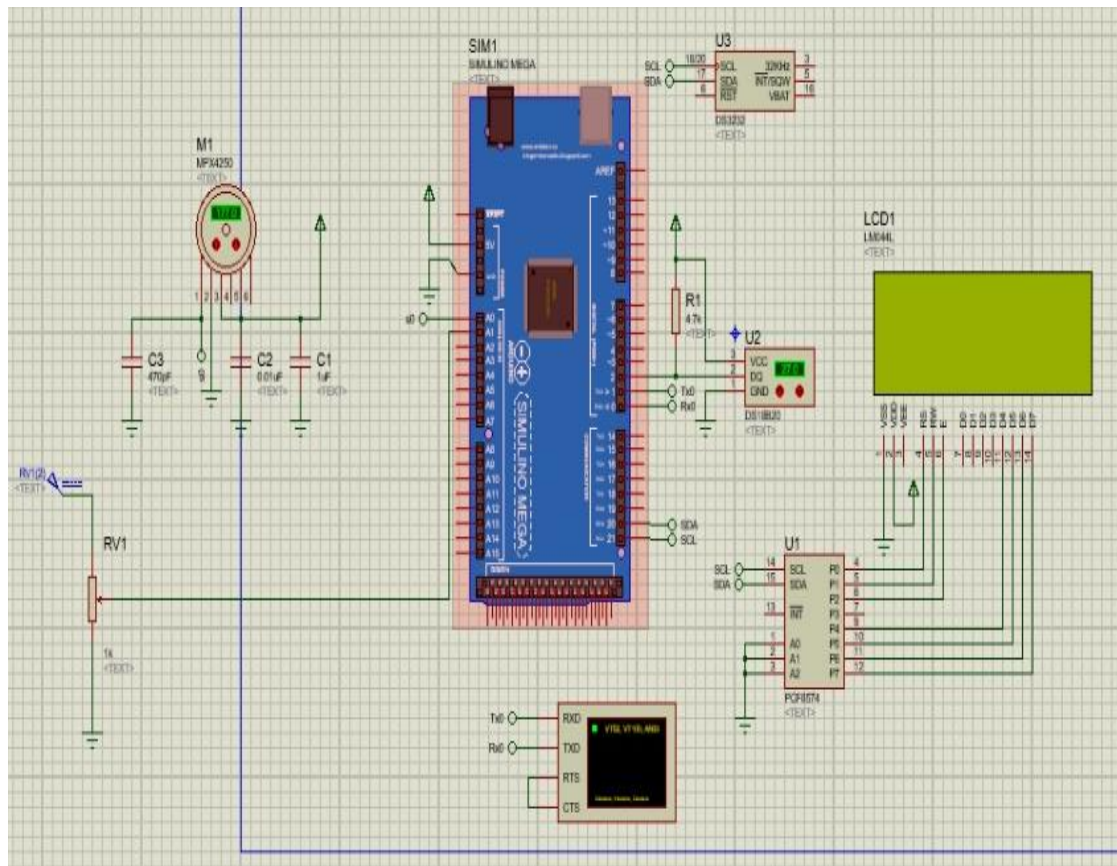


Figura 16: Diseño del sistema electrónico (Proteus 1.1).

Elaborado por el equipo de trabajo.

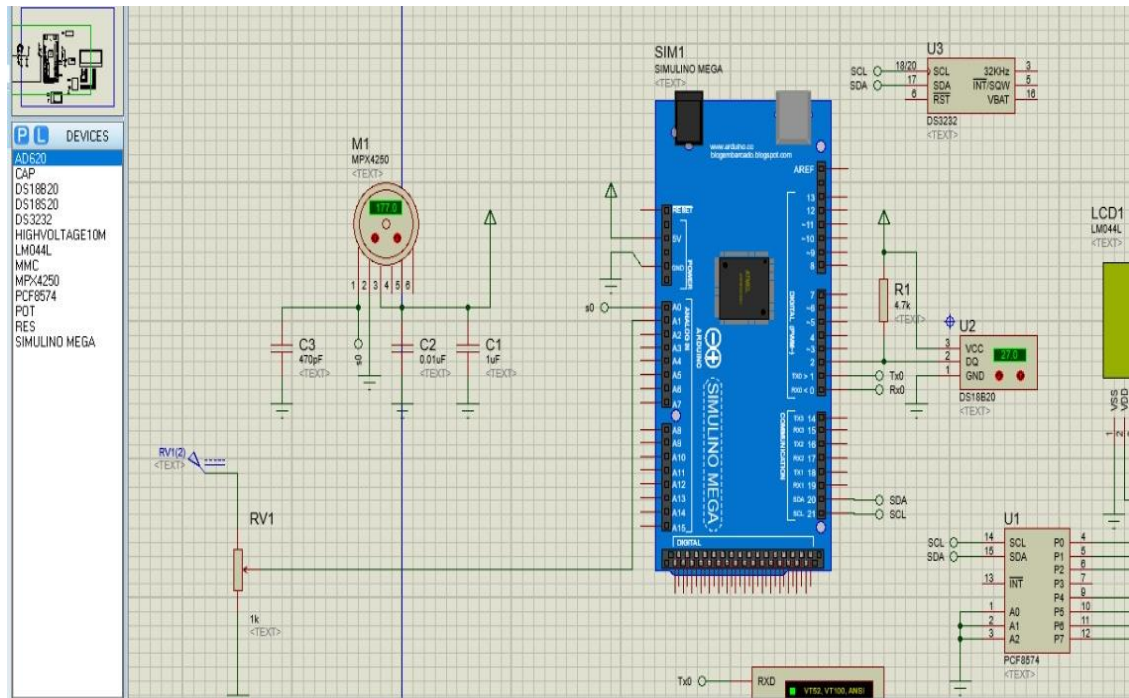


Figura 17: Diseño del sistema electrónico (Proteus 1.2)

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.4.6. Sensores

Es el encargado de medir magnitudes físicas y químicas del sistema con el fin de transformarlas en señales eléctricas y ser almacenadas en una base de datos, para posteriormente ser evaluadas y empleadas algoritmos y condiciones de control y estas podrán reflejarse en los actuadores del sistema.

➤ Sensor de presión

El transductor piezorresistivo de la serie MPX4250 es un sensor de presión de silicio monolítico diseñado para una amplia gama de aplicaciones, particularmente aquellos que emplean un microcontrolador o microprocesador con A/D entradas. Este transductor combina técnicas avanzadas de micromecanizado, metalización de película fina y procesamiento bipolar para proporcionar una precisión de alto nivel. señal de salida analógica que es proporcional a la presión aplicada. (Semiconductor Freescale, 2009)

A continuación, las especificaciones técnicas del sensor:

Tabla 20: Las especificaciones técnicas del sensor.

Descripción	Valor
Puertos	2 (entrada y salida)
Rango de presión diferencial:	0 a 250 kPa (0 a 36,3 psi)
Tensión de alimentación:	5.1V +/- 0.25V
Corriente de trabajo:	10mA MAX
Sensibilidad:	18.8mV / KPa
Tiempo de respuesta:	1 ms
Tiempo de calentamiento:	20 ms
Voltios de salida:	0,2 a 4.9V
Error máximo Precisión	(0 ° a 85 ° C): +/- 1,4% VFSS
Temperatura de funcionamiento:	-40 a +125 ° C

Fuente: Semiconductor Freescale, 2009. Obtenido de www.nxp.com/files-static/sensors/doc/data_sheet/MPX4250.pdf

➤ Sensor de temperatura

El sensor a emplear es el DS18B20, el cual es un termómetro digital de alta precisión, entre 9 y 12 bits de temperatura en grados Celsius (el usuario puede escoger la precisión deseada). Su temperatura operativa se encuentra entre -50 y 125 grados Celsius. La precisión, en el rango comprendido entre -10 y 85 grados es de ± 0.5 grados.

Su precio es económico, su interfaz de funcionamiento es sencilla y su uso es muy provechoso para proyectos que requieran mediciones precisas y confiables.

Se puede escoger entre el modelo sumergible y los modelos para uso en placas de circuitos (Aprendiendo a utilizar el sensor de temperatura DS18B20, s.f.).

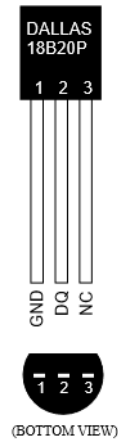


Figura 18: Semiconductor DS18B20-PAR

Fuente: Semiconductor, D. (30 de Octubre de 2020). 1-Wire Parasite-Power Digital Thermometer. Obtenido de www.maxim-ic.com

Tabla 21: Descripción detallada de pines.

PIN	Símbolo	Descripción
1	GND	Tierra.
2	DQ	Pin de entrada / salida de datos. Pin de interfaz de 1 cable de drenaje abierto. También proporciona energía al dispositivo cuando se usa en modo de energía de parásitos (consulte la sección "Energía de parásitos").
3	NC	No Connect. No se conecta al circuito interno.

Fuente: Semiconductor, D. (30 de Octubre de 2020). 1-Wire Parasite-Power Digital Thermometer. Obtenido de www.maxim-ic.com

Cada DS18B20-PAR tiene un código de identificación único de 64 bits, que permite que varios DS18B20-PAR funcionen en el mismo bus de 1 cable; por lo tanto, es simple usar un microprocesador para controlar muchos DS18B20PAR distribuidos en un área grande. Las aplicaciones que pueden beneficiarse de esta característica incluyen controles ambientales de HVAC, sistemas de monitoreo de temperatura dentro de edificios, equipos o maquinaria, y sistemas de control y monitoreo de procesos. (Semiconductor, 2020)

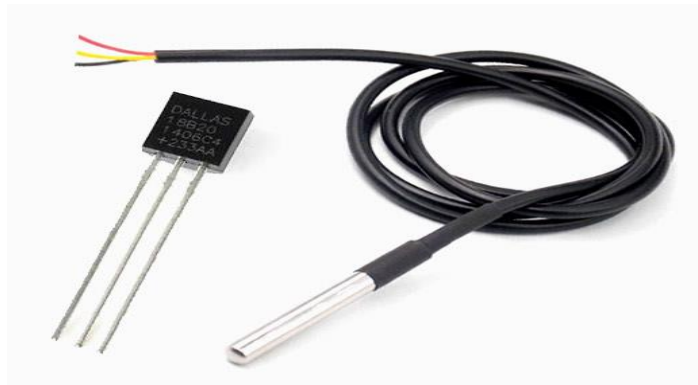


Figura 19: Sensor de temperatura DS18B12.

Fuente: Componentes101. (2020). Configuración de pines del sensor de temperatura ds18b20. Obtenido de <https://componentes101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>

A continuación, se detallan las características técnicas del sensor de temperatura DS18B12 para metros que nos ayudaran a poder diseñar y considerar valores en la implementación del sistema de medición de temperatura.

Tabla 22: Características del sensor de temperatura.

Características	Unidad de medida
Señal de salida digital	9-12 bits °C
Rango de Temperatura	-50° to 125°C
Interfaz 1-Wire	Puede funcionar en 1 solo pin
Precisión (de -10°C a 85°C)	+/- 0.5 °C
Voltaje de alimentación (DC)	3.0 V a 5.5 V
Tiempo de conversión:	750 ms a 12 bits

Fuente: Componentes101. (2020). Configuración de pines del sensor de temperatura ds18b20. Obtenido de <https://componentes101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>



3.4.7. Controlador

3.4.7.1. Módulo de fecha y hora

Para la obtención y registro de datos es necesario el uso de un módulo que registre la fecha y hora de los eventos ocurridos.

Se usará un módulo que realice un registro de datos de fecha y hora (incluidos segundos) el módulo debe tener conexión I2C u otro protocolo que contribuya con el ahorro de pines y simplifique la tarjeta electrónica.

3.4.7.2. Módulo de Almacenamiento

Los datos obtenidos se guardan en una memoria SD para posteriormente ser evaluados.

se usará un módulo de almacenamiento de datos con ranura para SD la cantidad de datos a almacenarse deben cubrir no menos de 30 días.

El módulo almacenamiento a usarse en esta oportunidad será el

3.4.7.3. Microcontrolador

El microcontrolador debe cumplir con los requerimientos de pines y protocolos de comunicación que requiere el sistema.

➤ La cantidad de pines

De acuerdo a la conexión de módulos y dispositivos electrónicos que se conectaran al controlador suman una cantidad de XX pines de entrada Digital

Tabla 23: Conexión de módulos y dispositivos electrónicos.

Descripción	Pines
Entradas analógicas	
Sensor de presión	A0
Potenciómetro	A1
Entradas Digitales	
Sensor de temperatura DS18B12	D2
Comunicación	
Pantalla LCD	SDA0, SCL0
RTC DS3232	SDA0, SCL0
Conexión serial	Tx, Rx

Elaborado por el equipo de trabajo.

La cantidad de pines analógicos será de acuerdo a la distribución:

A0 para conexiones de lector de temperatura dentro de la cámara concentración de residuos

A1 para conexiones de lector de presión dentro de la cámara de concentración de residuos.

➤ **Protocolos de comunicación**

El protocolo de comunicación a usarse según los módulos son el I2C y el controlador debe cumplir con dicho protocolo

3.4.7.4. Módulo de salida gráfica (pantalla)

Los RTC (Real Time Clock) o reloj en Tiempo Real son la solución ideal cuando necesitamos integrar mediciones de tiempo a nuestros proyectos. Los RTC son de muy bajo consumo por lo que pueden ser alimentados por baterías y de esa forma no perder la sincronización. Si bien los microcontroladores poseen contadores internos, estos no son tan exactos como un RTC dedicado.

El módulo está basado en el RTC DS3231 de MAXIM y la EEPROM AT24C32 de ATMEL. Ambos circuitos integrados comparten el mismo bus comunicación con el Protocolo I2C. El RTC DS3231 es la evolución del clásico RTC DS1307. La principal diferencia con el DS1307; es el oscilador interno compensado por temperatura, lo que hace que su precisión sea muy alta. La memoria EEPROM AT24C32 permite almacenar 32Kbits (4K Bytes) de datos de manera permanente. (Mechatronics, Naylamp Mechatronics SAC)

3.4.8. Actuadores

3.4.8.1. Electroválvulas

Una electroválvula es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o tubería. La válvula se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas se usan en multitud de aplicaciones para controlar el flujo de todo tipo de fluidos.

3.4.9. Diseño de software



Figura 20: Esquema del diseño de Software.

Elaborado por el equipo de trabajo.



3.4.9.1.Registro de datos

➤ Datalogger

Un datalogger en Arduino refiere a una programación de códigos que, con la ayuda de un arreglo de componentes encargados de obtener y registrar datos en una memoria de almacenamiento, logran registrar todos los datos obtenidos según la hora y la fecha del evento.

3.4.9.2.Procesamiento de datos

Una vez obtenido los datos de la medición realizada en una tarjeta SD se procederá a la evaluación y procesamiento de los datos.

➤ Excel

Los datos se obtienen en un formato .txt o archivo de texto y a partir de ahí se realizará el procesamiento.

Se realizará la conversión del archivo .txt a .xls para lo cual se hace el siguiente procedimiento.

3.5.CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

Este apartado describe como se realizó la construcción y el montaje de acuerdo al diseño que se realizó anteriormente.

3.5.1. Construcción del sistema mecánico

El sistema mecánico consiste en la implementación de los tanques de digestión conformados por dos recipientes de 70 litros de materia plástico, los mismos que fueron adecuados para poder acumular residuos orgánicos, de manera que no exista fugas de aire o biogás generado por los mismos residuos.



Figura 21: Tanques de digestión.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para lo cual fue necesario la elaboración de planos los cuales contemplan medidas y requerimientos contemplados con anterioridad, dicho plano fue elaborado en el programa de modelamiento 3D, Autodesk Inventor en su versión estudiante.

3.5.2. Acumulador de biogás

El acumulador fue implementado de manera que cuenta con los accesorios de seguridad, por ejemplo, válvulas.

3.5.3. Accesorios y acoples mecánicos

Se usó materiales como niples y acoples mecánicos se usó conectores de PVC de ½” de diámetro los cuales cuentan con rosca interna, los mismos que conectan un niple de ½”.

3.5.4. Construcción del sistema electrónico

3.5.4.1. Circuito de potencia

El circuito de potencia es el que se encarga de suministrar de energía a actuadores como electroválvulas.



Este circuito consume una mayor cantidad de corriente por lo tanto es necesario realizar algunos cálculos para el correcto dimensionamiento.

3.5.4.2. Circuito de control

El circuito de control consta de un arreglo de componentes y módulos de manera que cumplen la tarea de obtener datos de los sensores y de acuerdo a ello hacer una comandar a componentes exteriores por medio de un relé.

3.5.4.3. Montaje del equipo

El montaje total consiste en la unión de todos los sistemas antes descritos de manera que todas funciones cumpliendo sus tareas con un solo fin.

3.5.5. Pruebas

3.5.5.1. Prueba de funcionamiento

Se realizó una prueba del prototipo de biodigestor el cual consistió en la puesta en funcionamiento durante 30 días, tiempo en el que se obtendrá datos de la generación de biogás, los datos a obtenerse serán de temperatura y presión de gas generado.

3.5.5.2. Procedimientos para la prueba

Posterior a la implementación del prototipo se procedió con el funcionamiento de este para poder verificar la funcionalidad del mencionado prototipo para lo cual se detalla los procedimientos de la prueba de funcionamiento:

- Acondicionamiento de la cámara de digestión y cámara de acumulación.
- Llenado de materia orgánica
- Seguro de compuertas, tapas y seguros.
- Acondicionamiento y ubicación de sistema de obtención de datos.

3.5.5.3. Tiempo de prueba de funcionamiento

El ensayo consistió en la prueba de funcionamiento del sistema durante 30 días el cual inició el 30/08/2020. La toma de datos se consideró a partir del día 01/09/2020 posterior a ser implementado y puesta en funcionamiento, y tiempo en el que se esperó obtener resultados.

Para lo cual se preparó el sistema para la toma de datos durante el periodo, por lo tanto, se tuvo que realizar el sellado y acondicionamiento del sistema un día antes, para comenzar el periodo sin problemas.

Las mediciones se realizarán progresivamente a razón de 01:00:00 hora de diferencia.

3.5.5.4. Materia orgánica

La materia orgánica utilizado para este fin, consistía de residuos orgánicos domésticos tal como se muestra en la figura a continuación.



Figura 22: Materia orgánica.

Elaborado por el equipo de trabajo.



3.5.5.5.Toma de datos

La toma de datos se realizó a partir del 01/09/2020 a las 01:00 horas de la madrugada tiempo que estuvo programado en el controlador del datalogger. Los datos medidos fueron almacenados para su posterior trato.

3.5.5.6.Temperatura inicial

La temperatura inicial que se consideró al inicio de la puesta en funcionamiento fue 4.4°C, este dato fue verificado de las lecturas tomadas al inicio de la prueba de funcionamiento y se obtuvo juntamente con los demás datos (Anexo 2).

3.5.5.7.Presión inicial

La presión inicial a la que se consideró la primera medición del primer día fue de 0.308 PSI de la misma forma que en la temperatura este dato se obtuvo al final, pero es el primer dato con el que comenzó la etapa de prueba de funcionamiento.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO SEGÚN DISEÑO

En este capítulo se detalla los resultados que obtuvo en la etapa de prueba posterior a la implementación del prototipo, como anteriormente se mencionó la etapa de prueba consistió en una puesta de funcionamiento de 30 días con material residual doméstico.

La investigación debido a cada objetivo trazado, la implementación de cada parte del prototipo fue trabajada por separado para su posterior integración al sistema planteado inicialmente, quedando así conformado completo el sistema.

Desde la etapa que se inicia la implementación general del sistema hasta que ocurre la obtención del biogás, además la evaluación de los valores obtenidos del sistema puesto en marcha para su respectiva prueba siguiendo la metodología planteada inicialmente lo cual se expone a continuación.

4.1.1. Resultado de la implementación del prototipo de biodigestor

La implementación física del prototipo de biodigestor de desarrollo en dos cuerpos los cuales son etapas de:

- Etapa de digestión de material orgánico
- Etapa de acumulación de biogás.

4.1.2. Resultado de la etapa de digestión

La etapa de digestión constituida por dos tachos de 70 litros de capacidad, está unida por una tubería de ½” de diámetro el mismo que está unido por una unión universal tal como se puede observar en la Figura 23.

Cada uno de los tanques de cuentan con una llave esférica en el ducto de salida de fluido.



Figura 23: Contenedor de residuos sólidos.

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.3. Resultado de la implementación del acumulador de BIOGAS

El acumulador consiste en un envase de polipropileno plástico de 4 litros de capacidad y fue donde se almacenó el biogás obtenido del prototipo, en el periodo de funcionamiento mencionado.

El acumulador cuenta con electroválvulas en la entrada y salida del fluido Figura 24 los cuales son controlados por señales emitidas del datalogger.

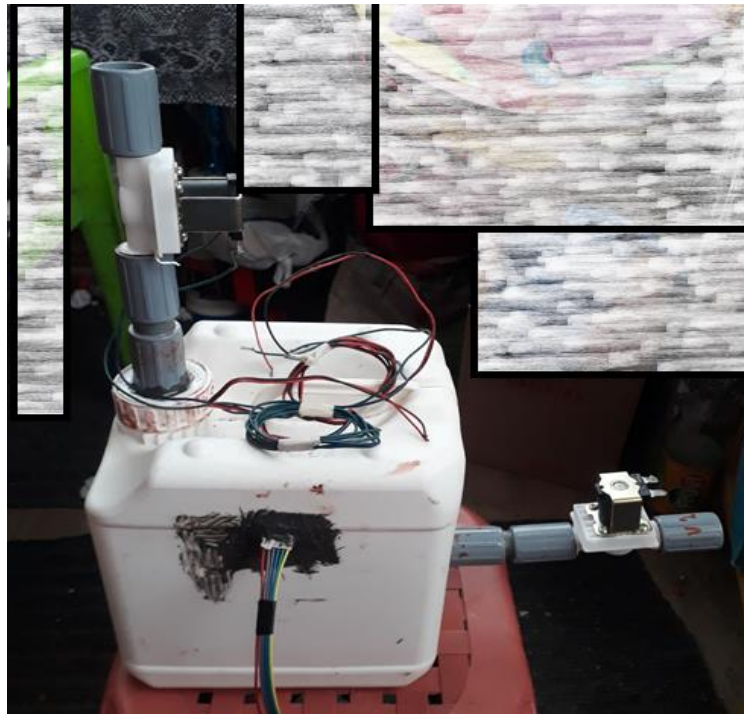


Figura 24: Tanque de almacenamiento biogás.

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.4. Resultado de sistema electrónico

El sistema electrónico implementado en esta oportunidad consiste en la implementación de un datalogger basado en hardware y software libre el cual también cuenta con un control manual de mando para las electroválvulas de apertura y cierre de fluido.

4.1.5. Resultados de la implementación de Datalogger

La implementación del sistema de medición Datalogger se realizó utilizando módulos y componentes electrónicos, así como software libre para la programación de componentes electrónicos.

4.1.6. Datos obtenidos de Datalogger

Los datos de Temperatura y Presión del prototipo fueron obtenidos por el Datalogger implementado, estos se muestran a continuación.

La manera en la que esta ordenada en la siguiente:

- 30 días durante 1 mes
- 7 días de la semana durante 24 horas diarias
- 24 mediciones durante el día tomados a razón de 1 hora de diferencia.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** detalla los valores o btenidos del datalogger los cuales están enumerados por número de dato que consta de 720 datos que se lograron obtener durante 30 días, como se muestra a continuación se puede ver que no se cuenta con el total de los datos por ser de gran cantidad; estos se podrán ver en la sección de anexos.

Tabla 24: Datos obtenidos de datalogger.

DATO	FECHA	HORA	TEMPERATURA	PRESIÓN
1	01/09/2020	01:00:00	4.40	0.3087
2	01/09/2020	02:00:00	3.87	0.5219
3	01/09/2020	03:00:00	1.75	0.4002
4	01/09/2020	04:00:00	2.41	0.4672
5	01/09/2020	05:00:00	4.14	0.5704
6	01/09/2020	06:00:00	6.05	0.3765
7	01/09/2020	07:00:00	9.96	0.5019
8	01/09/2020	08:00:00	10.14	0.8057
9	01/09/2020	09:00:00	14.06	0.6370
10	01/09/2020	10:00:00	14.43	0.5506
11	01/09/2020	11:00:00	14.79	0.8612
12	01/09/2020	12:00:00	15.40	0.4595
13	01/09/2020	13:00:00	15.69	0.5218
14	01/09/2020	14:00:00	13.32	0.3590
15	01/09/2020	15:00:00	12.27	0.4720
...
715	30/09/2020	19:00:00	7.30	5.8007
716	30/09/2020	20:00:00	7.20	5.8034
717	30/09/2020	21:00:00	7.10	5.8060
718	30/09/2020	22:00:00	6.12	5.8087
719	30/09/2020	23:00:00	6.00	5.8114
720	30/09/2020	00:00:00	5.95	5.8141

Elaborado por el equipo de trabajo.

Los datos detallan número de dato, fecha, hora, temperatura y presión obtenida de las líneas de biogás obtenido tal y como muestran en el cuadro anterior.

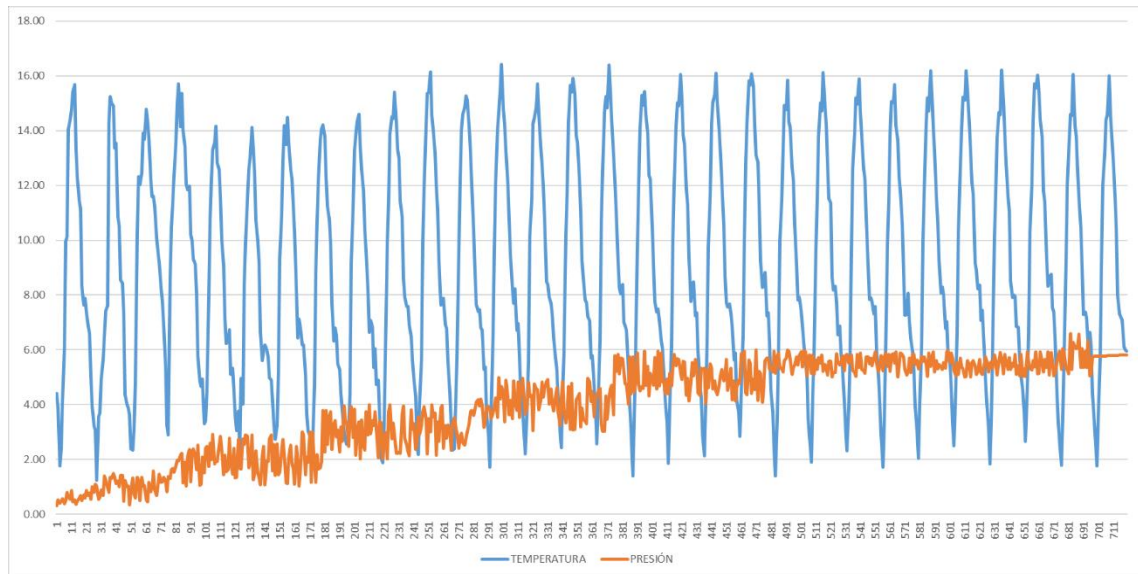


Figura 25: Evolución de temperatura y presión en periodo de 1 mes (30 días).

Elaborado por el equipo de trabajo.

Durante el mes de periodo de funcionamiento se obtuvieron lecturas de temperatura y presión, los mismos fueron reflejados en la curva de evolución que se muestra en la Figura 25 mostrada anteriormente.

Tabla 25: Valores máximos de temperatura y presión.

Temperatura máxima	Presión máxima
16.43	6.5876
Temperatura mínima	Presión mínima
0.22	0.0019

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.7. Datos obtenidos en periodo de 24 horas

A continuación, se muestra la medición durante 24 horas del día 04 del periodo de prueba, esta medición se obtuvo de manera aleatoria para poder visualizar y apreciar de

manera visual el comportamiento de la presión de biogás presente dentro de las cámaras de digestión.

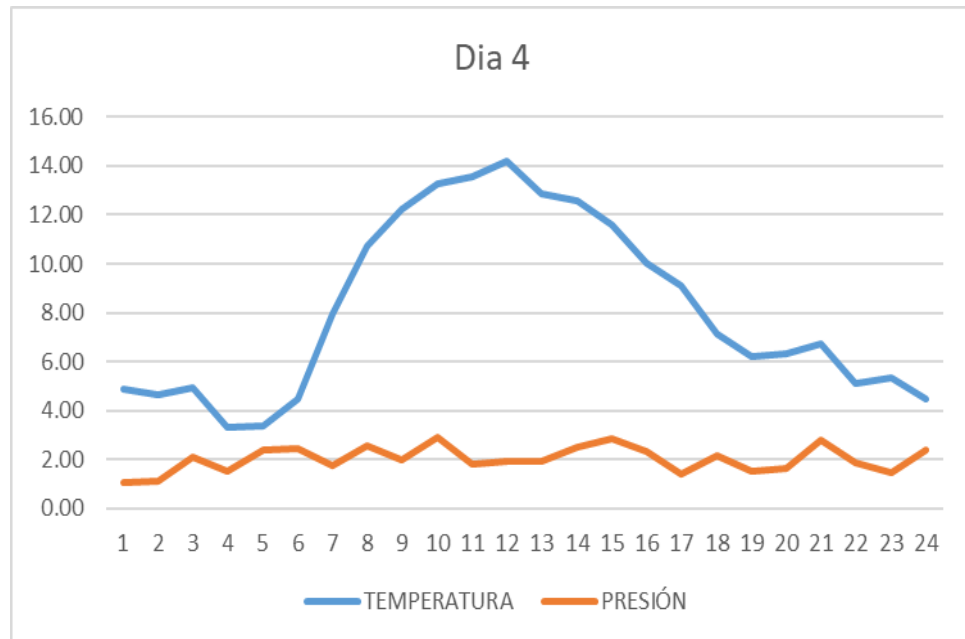


Figura 26: Evolución de temperatura y presión del día 4.

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.8. Datos obtenidos en un periodo de 2 horas

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los niveles de evolución de temperatura y presión correspondiente al día 16 en el periodo de dos horas a partir de las 8:00 AM.

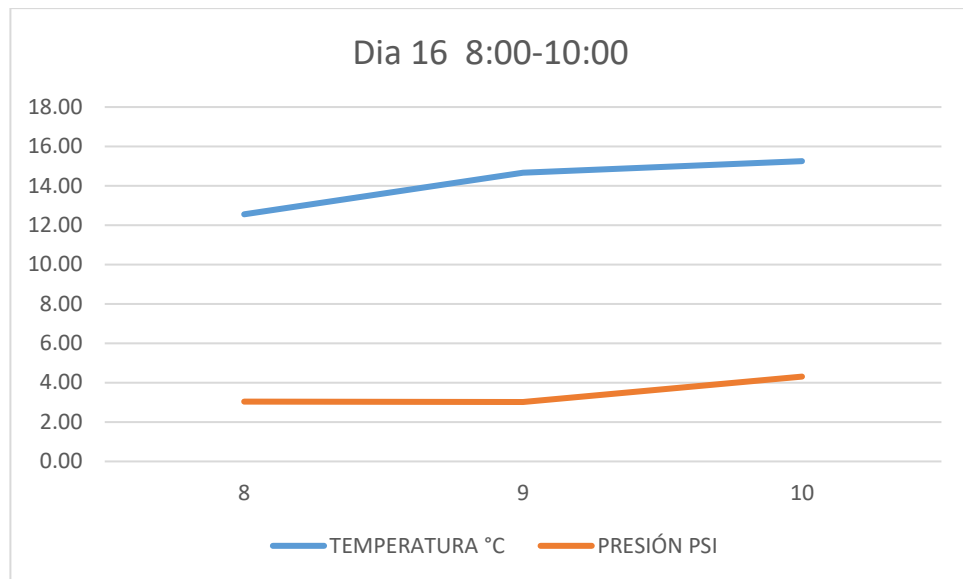


Figura 27: Evolución de temperatura y presión en el periodo de 2 horas.

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.2.DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El trabajo desarrollado por la “Universidad Nacional del Altiplano” en la cual se muestra los resultados de simulaciones y pruebas finales dentro de las simulaciones y experimentaciones realizadas para evaluar un biorreactor para obtener biogás a partir de las excretas de cuy en la ciudad de Puno; donde se diseñó un biorreactor de con un intercambiador de calor en forma de serpentín para mantener la temperatura a , manteniendo un proceso de fermentación óptima, el cual se implementó con instrumentos de medición industrial de Temperatura = y Presión = 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. (Calisaya Calisaya & Phocco Espetia, 2018)

La producción de biogás en una investigación hecha por, 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. (Los Barbosa, Cabral, Capanema, & Schirmer, 2018)



V. CONCLUSIONES

Con un equipo a pequeña escala a bajo costo se puede producir gas casero, el cual es capaz de satisfacer ciertas necesidades domésticas.

El método de producción de biogás mediante biodigestores anaeróbicos es la forma más sencilla de poder aplicar, para la obtención de gas casero.

La producción de biogás se obtiene en días más soleados (variación de temperatura), pues es cuando la materia residual acelera la reacción.

Se registro una presión y temperatura durante el plazo de 30 días, en la descomponían de residuos sólidos dentro del biodigestor, enlazado aun registro de datos (datalogger), llegando a una presión máxima 6.5 PSI y una temperatura máxima de 16.4°C.



VI. RECOMENDACIONES

Para lograr producir el biogás se implementa el sistema con dimensionamiento requerido y para lograr mayor cantidad se debe considerar maximizar las dimensiones.

Para obtener mayor cantidad de biogás se debe tomar en cuenta la temperatura debido a que en la etapa de prueba de producción de biogás esta depende de la temperatura.

Se recomienda implementar el sistema en lugar cálidos y donde no varían la temperatura drásticamente y que puedan afectar el proceso de producción de Biogás.



VII. REFERENCIAS

Bibliografía

- Ait Ahmed, W., Aggour, M., & Naciri, M. (2017). Control de biogás: Monitoreo de la producción de metano usando Arduino. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*.
- Vazquez Valencia, L. A. (2016). Sistema Integral de Generación de Energía Eléctrica por Medio de Biogás. Chiapas: Escuela de Ingeniería.
- Arrieta Palacios, W. (Junio de 2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Piura: Universidad de Piura.
- Calisaya Calisaya, E. S., & Phocco Espetia, J. J. (2018). DISEÑO DE UN BIORREACTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE EXCRETAS DE CUY MONITOREADO CON UN CONTROLADOR INDUSTRIAL EN LA CIUDAD DE PUNO. Puno.
- Chavez Jacome, J. F., & Velasco Olave, J. E. (2015). Modelación, implementación y automatización de una microplanta de producción de biogás a partir de biomasa residual para el laboratorio de energías renovables del DECEM de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Tesis. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Componentes101. (2020). Configuración de pines del sensor de temperatura ds18b20. Obtenido de <https://components101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>
- Cristancho Montenegro, D. L., Gámez Posada, W., Guerra Alfaro, J. A., & Dueñas Escudero, M. F. (Enero-Junio de 2018). Estimación de los gases efecto invernadero generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del río Bogotá. 25-44. Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 18 (34).
- Hernandez Sampieri, R. (2014). Metodología de investigación. México: mexicana.
- Keppler, F., Hamilton, J., & Braß, M. (2006). Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature*, 187-191. Obtenido de <https://doi.org/10.1038/nature04420>
- Landeros Gutiérrez, C. S., & Sánchez Sánchez, O. (Abril de 2012). De los fuegos fatuos al biogás. Obtenido de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol25num1/articulos/fuegos/>
- López M., G. A. (2011). Producción de biogás a partir de RSU. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar,



XXXIX(1), 35-48. Recuperado el 29 de Setiembre de 2020, de
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2231/223120659006>

- Los Barbosa, F. J., Cabral, A. R., Capanema, M. A., & Schirmer, W. (2018). Biogas generation potential of anaerobic co-digestion of municipal solid wastes and livestock manures.
- Mechatronics, N. (12 de setiembre de 2020). Naylamp Mechatronics SAC. Obtenido de https://www.naylampmechatronics.com/blog/34_Tutorial-LCD-conectando-tu-arduino-a-un-LCD1.html
- Mechatronics, N. (s.f.). Naylamp Mechatronics SAC. Obtenido de Módulo I2C RTC DS3231 AT24c32: <https://naylampmechatronics.com/modulos/107-modulo-rtc-ds3231-eprom-at24c32-i2c.html>
- Ojeda Casilla, L. (2019). ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON RESIDUOS SÓLIDOS DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN ESPINAR – PUNO, PERIODO 2018. Puno, Peru: Escuela de Ingeniería.
- Pavlostathis, & Gomez, G. (1991).
- Ramos, G. (2006). Mecanismo de desarrollo limpio estudio de biodigestores. Lima-Peru. lima.
- SA, R. (13 de Octubre de 2018). Raig. Obtenido de Raig S.A: <https://www.raig.com/blog/que-es-un-datalogger-17/>
- Semiconductor Freescale, F. (Enero de 2009). Hoja de datos (Datasheet) MPX4250. Obtenido de https://www.nxp.com/files-static/sensors/doc/data_sheet/MPX4250.pdf
- Semiconductor, D. (30 de Octubre de 2020). 1-Wire Parasite-Power Digital Thermometer. Obtenido de www.maxim-ic.com
- Varnero Moreno, M. M. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile: Ministerio de Energía.

ANEXOS

Anexos 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL El crecimiento poblacional genera una gran cantidad de residuos orgánicos e inorgánicos mediante las actividades que se realizan; entre ellos los residuos alimenticios que muchas veces son desechados en lugares públicos generando olores nauseabundos, atrayendo a insectos que podrían ser transmisores de enfermedades. Además, son fuente de contaminación y perjudican notablemente los recursos básicos como el agua, el aire y el suelo.</p> <p>PROBLEMAS ESPECIFICOS Una población tan numerosa como la del centro poblado de chilla se debería de implementar un adecuado manejo de los residuos sólidos, principalmente los orgánicos, porque se constituyen en medios potenciales para la reproducción y crecimiento de microorganismos e insectos.</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Diseñar e implementar un prototipo de un biodigestor anaeróbico para la producción de Biogás a partir de residuos sólidos y orgánicos.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementar un prototipo de un biodigestor anaeróbico. • Analizar y obtener el nivel de temperatura deseada para la obtención de mayor cantidad de biogás. 	<p>HIPOTESIS DE INVESTIGACION</p> <p>HIPOTESIS GENERAL La presión de biogás se obtendrá según la temperatura ambiente.</p> <p>HIPOTESIS ESPECIFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La obtención de biogás a partir de residuos sólidos se obtendrá mediante el proceso de biodigestión, el cual acelerará la producción de gas metano y dependerá bajo las condiciones del clima que varía entre 0.22°C a 16.43°C en el distrito de chilla. • En el proceso de producción de biogás, se logrará obtener los parámetros físicos, tanto de temperatura y presión, monitoreado por un controlador que se almacenará en un registro de datos (datalogger). 	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Producción de biogás <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión relativa. • Temperatura <p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los residuos sólidos orgánicos <p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proporcionalidad de residuos sólidos orgánicos. 	<p>TIPO DE INVESTIGACION APLICADA</p> <p>Diseño de investigación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptivo. • De enfoque cualitativo <p>Población y muestra.</p> <p>Población.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8 640 mediciones de temperatura y presión realizadas durante 30 días con un intervalo de tiempo de 1hora. <p>Muestra.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 720 mediciones temperatura y presión obtenidas mediante muestreo estratificado. <p>Material de validación de datos Lista de apuntes digital (DATA LOGGER).</p>



ANEXO 2. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Fichas de recolección de Datalogger

DATO	FECHA	HORA	TEMPERATURA	PRESIÓN
1	01/09/2020	01:00:00	4.40	0.3087
2	01/09/2020	02:00:00	3.87	0.5219
3	01/09/2020	03:00:00	1.75	0.4002
4	01/09/2020	04:00:00	2.41	0.4672
5	01/09/2020	05:00:00	4.14	0.5704
6	01/09/2020	06:00:00	6.05	0.3765
7	01/09/2020	07:00:00	9.96	0.5019
8	01/09/2020	08:00:00	10.14	0.8057
9	01/09/2020	09:00:00	14.06	0.6370
10	01/09/2020	10:00:00	14.43	0.5506
11	01/09/2020	11:00:00	14.79	0.8612
12	01/09/2020	12:00:00	15.40	0.4595
13	01/09/2020	13:00:00	15.69	0.5218
14	01/09/2020	14:00:00	13.32	0.3590
15	01/09/2020	15:00:00	12.27	0.4720
16	01/09/2020	16:00:00	11.45	0.0589
17	01/09/2020	17:00:00	11.16	0.0889
18	01/09/2020	18:00:00	8.35	0.5012
19	01/09/2020	19:00:00	7.64	0.1698
20	01/09/2020	20:00:00	7.88	0.4898
21	01/09/2020	21:00:00	7.38	0.8559
22	01/09/2020	22:00:00	6.85	0.6824
23	01/09/2020	23:00:00	6.59	0.7680
24	02/09/2020	00:00:00	6.04	0.3546
25	02/09/2020	01:00:00	2.95	0.9957
26	02/09/2020	02:00:00	3.21	0.3796
27	02/09/2020	03:00:00	3.07	1.1028
28	02/09/2020	04:00:00	3.24	1.2287
29	02/09/2020	05:00:00	3.55	0.3542
30	02/09/2020	06:00:00	3.68	0.2072
31	02/09/2020	07:00:00	2.90	1.6864
32	02/09/2020	08:00:00	3.62	0.6749
33	02/09/2020	09:00:00	3.51	1.8845
34	02/09/2020	10:00:00	3.42	1.9233
.
.
.
720	30/09/2020	00:00:00	5.95	5.8141



ANEXO 3. CODIGO FUENTE DE LA PROGRAMACIÓN

```
#include <DS3232RTC.h> //Declaramos la libreria del
modulo RTC
#include <Wire.h> //Deaclramos el protocolo de
comunicación por I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Declaramos la conexión de
panlalla por I2C
#include <OneWire.h> //Declaramos la libreria onewire
#include <DallasTemperature.h> //Declaramos la libreria para
sensor de temperatura

LiquidCrystal_I2C lcd(0x20,20,3); //Arranca el codigo de escaneo
I2C y obtiene la dirección I2C,en nuestro caso 0x3f.
OneWire ourWire(2); //Se establece el pin 2 como bus
OneWire
DallasTemperature sensors(&ourWire); //Se declara una variable u
objeto para nuestro sensor

void setup()
{
  lcd.init(); //Inicia la pantalla LCD

  setSyncProvider(RTC.get); //Función para obtener datos del
  RTC

  if(timeStatus() != timeSet)
  lcd.setCursor(3,0); //Ubicamos el cursor en la
  posición 3,0 de manera cartesiana
  lcd.print("BIENVENIDOS!"); //Escribimos la palabra
  BIENVENIDOS
  lcd.setCursor(0,1); //Ubicamos el cursor en la
  posicipon 0,1
  lcd.print("BIODIGESTOR ANAERO-"); //Escribimos la palabra
  BIODIGESTOR ...
  lcd.setCursor(0,2); //Ubicamos el cursor en la
  posición 0,2
  lcd.print("BICO JULIACA - PERU"); //Escribimos la palabra BIO J...
  lcd.setCursor(2,3); //Ubicamos el cursor el la
  posición 2,3
  lcd.print("ABRAHAM & RUDY"); //Escribimos la palabra ABRAHAM...
  delay(1000); //Lo escrito anteriormente
  escendido por 1000 milisegundos o 1 minuto
  lcd.clear(); //Se borra todo lo escrito
  anteriormente

  //delay(1000);
  //Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); //Se inicia el sensor
}
```




```
void loop()
{
digitalClockDisplay();
delay(1000);
int x = analogRead (A0); //se designa A0 como entrada
analoga
x = map(x, 0, 1023, 0, 260); //se mapea el valor obtenido
anterior
sensors.requestTemperatures(); //Se envía el comando para leer
la temperatura
float temp= sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C
//delay(100);
// set cursor to first line
lcd.setCursor(2, 0);
// Print a message to the LCD.
lcd.backlight();
lcd.print("BIO-ANAEROBICO");
//lcd.setCursor(0,1);
//lcd.print("MEDIDA PARAMETROS");
lcd.setCursor(0,2); //Ubicamos el cursor en la
posición 0,2 del LCD
lcd.print("T1= "); //Imprimimos la palabra T1
lcd.print(temp); //Mostramos los valores de la
variables temp
lcd.print(" C"); //Imprimimos la palabra C
lcd.setCursor(0,3); //Ubicamos el cursor en la
posición 0,3 del LCD
lcd.print("P= "); //Imprimimos la palabra P
lcd.print(x); //Mostramos los valores de la
variable x
lcd.print(" kPa"); //Imprimimos la palabra kPa

delay(100); //Todo lo anterior por un
tiempo de 100 milisegundos
}
void digitalClockDisplay()
{
lcd.setCursor(0, 1); //Ubica el cursor en la
posición 0,1 del LCD
lcd.print(hour()); //Muestra la hora obtenida del
RTC
printDigits(minute()); //Muestra los minutos del
modulo RTC
printDigits(second()); //Muestra los segundos del
modulo RTC
lcd.print(' '); //Imprime espacios para texto
lcd.print(day()); //Muestra el dia obtenido del
RTC
lcd.print(' '); //Imprime espacios para texto
lcd.print(month()); //Muestra el mes obtenido del
```

```
RTC  
lcd.print(' '); //Imprime espacio para texto  
lcd.print(year()); //Muestra el año obtenido del  
RTC  
lcd.println(); //Salto de linea para  
actualizar mas datos  
}  
  
void printDigits(int digits)  
{  
  
lcd.print(':');  
if(digits < 10)  
lcd.print('0');  
lcd.print(digits);  
}  
}
```

ANEXO 4. DESPUES DEL PROCESO DE BIODIGESTION

Abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de los residuos sólidos (BIOL).



Elaborado por el equipo de trabajo.