



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Departamento de Ingenierías

REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:
LUIS ENRIQUE GARCÍA MARMOLEJO

CARRERA:
INGENIERÍA INDUSTRIAL

***[MONITOREO DE UN PROCESO SIMPLE DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
EMPLEANDO RESIDUOS DE GANADO VACUNO DENTRO DE UN
BIODIGESTOR DE BAJO VOLUMEN]***

Laboratorio de Conversión de la Energía
Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



M. en C. OSCAR MARTIN NÁJERA SOLÍS
Asesor externo

DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR
Asesor interno

Diciembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme en el día a día de mi carrera, por brindarme en la vida las experiencias de luchar y cumplir cada una de mis metas con humildad en momentos de debilidad y la fuerza para sobresalir y seguir adelante en el proceso de mi formación profesional.

Agradezco a mi familia por la confianza y el apoyo incondicional para verme crecer en este largo proceso y en especial a madre Elodia Marmolejo Macías a quien dedico mi trabajo de Residencias Profesionales con cariño y amor, por los valores que me ha inculcado y creer en mi dejándome tomar la decisión de estudiar esta hermosa carrera y donde estoy seguro que siempre daré todo lo mejor de mí.

A mis asesores el Dr. José Alonso Dena Aguilar y el M. en C. Oscar Martin Nájera Solís por brindarme su confianza, apoyo y orientación para la realización de mi proyecto de Residencia Profesional con valores.

Agradezco al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga y a los docentes, quienes, en lo largo de mi formación profesional, me brindaron su conocimiento y apoyo para hoy lograr concluir este proyecto de Residencia Profesional.

RESUMEN

“MONITOREO DE UN PROCESO SIMPLE DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EMPLEANDO RESIDUOS DE GANADO VACUNO DENTRO DE UN BIODIGESTOR DE BAJO VOLUMEN”

Por: **LUIS ENRIQUE GARCÍA MARMOLEJO**

El Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga es una institución de educación superior que se localiza en el Municipio de Pabellón de Arteaga al norte del Estado de Aguascalientes y es perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM). Actualmente cuenta con una oferta educativa de 5 programas de Licenciatura y 1 programa de Posgrado con una matrícula superior a los 1500 estudiantes.

Dentro de sus instalaciones se encuentra el laboratorio de Conversión de la Energía adscrito al programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica donde se desarrollan proyectos de posgrado, investigación e innovación relativos a la línea de generación y aplicación del conocimiento “conversión de la energía”. Uno de estos proyectos se refiere a la obtención de biogás empleando un biodigestor automatizado de bajo volumen y residuos de ganado vacuno (estiércol de vaca). Se estudia la producción de biogás para sus posibles aplicaciones como un recurso alternativo energético no convencional.

El biogás es un recurso energético alternativo que puede ser producido por la descomposición de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos metanogénicos dentro de contenedores denominados biodigestores. Siendo un proceso que puede llevarse a bajo volumen para posteriormente escalar a volúmenes mayores. Para lo anterior, es necesario monitorear el proceso de producción de biogás en biodigestores de bajo volumen para cuantificar su capacidad de generación del biocombustible y posteriormente proponer un proceso de volumen mayor.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Ingeniería Industrial para establecer un proceso de bajo volumen de producción de biogás, así como un sistema de monitoreo automatizado para lograr registrar variables de operación como

temperatura, presión diferencial, humedad y concentración de metano (CH₄) para posteriormente aplicar técnicas estadísticas o análisis de datos. Donde todos los sensores están controlados por un lenguaje programable en Arduino habilitado para toma de datos *in situ* 24/7.

La propuesta de solución consistió en construir una base de datos experimental que permita ser empleada en trabajos futuros para analizar la viabilidad de escalamiento del equipo y considerar una propuesta a mayor escala como una sugerencia para generar energía eléctrica sustentable.

Se logró colocar cargas de 20 días y realizar el monitoreo de datos 24/7 y construir una base de datos experimentales representativos del proceso de producción de biogás.

Se utilizó un biodigestor de 120 L de capacidad previamente construido en trabajos anteriores. Sin embargo, y como parte del presente estudio, se realizó reingeniería al equipo para habilitar todo el sistema de sensado, trampa de gas y recipiente receptor del biogás.

El estudio desarrollado permite registrar la producción de biogás en el equipo optimizado.

Dirigido por:

M. en C. Oscar Martin Nájera Solís

Dr. José Alonso Dena Aguilar

ÍNDICE

	Pág.
I. GENERALIDADES DEL PROYECTO	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del residente.....	2
1.3 Problema(s) a resolver.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 ENERGÍAS RENOVABLES.....	8
2.2 BIOCOMBUSTIBLES.....	9
2.3 BIOGÁS.....	10
2.4 DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	12
2.5 BIODIGESTORES.....	13
2.6 RESIDUOS GANADEROS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	17
2.7 DISEÑOS DE PLANTAS DE BIOGÁS.....	19
2.8 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS BIOQUÍMICOS.....	22
2.8.1 Tiempo.....	23
2.8.2 Temperatura.....	24
2.8.3 Presión.....	25
2.8.4 Humedad.....	26
2.8.5 Concentración de gas metano.....	27
2.9 MODELOS ESTADÍSTICOS.....	28
2.9.1 Estadística básica.....	30
2.9.2 MINITAB.....	30
2.9.3 PERT/CPM.....	32

	Pág.
III. DESARROLLO.....	33
3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	33
3.1.1 Características del biodigestor empleado.....	33
3.1.2 Características de la biomasa empleada y puesta en operación del equipo.....	35
3.1.3 Sistema de monitoreo de variables de operación.....	37
3.1.4 Análisis de resultados.....	42
3.1.5 Escalamiento de proceso de nivel laboratorio a nivel planta piloto.....	42
3.1.6 Estadística básica.....	42
3.1.7 MINITAB.....	42
3.1.8 PERT/CPM.....	42
3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	43
 IV. RESULTADOS.....	 44
4.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: MONITOREO DE VARIABLES DE OPERACIÓN.....	44
4.2 ESCALAMIENTO DE PROCESO DE NIVEL LABORATORIO A NIVEL PLANTA PILOTO.....	47
4.3 ESTADÍSTICA BÁSICA.....	48
4.4 MINITAB.....	49
4.5 PERT/CPM.....	52
 V. CONCLUSIONES.....	 54
 VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	 55
 VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	 56

	Pág.
Anexo 1. Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	58
Anexo 2. Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	59

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.....	4
Figura 2. Transición energética hacia las energías renovables.....	9
Figura 3: Biocombustible.....	10
Figura 4: Composición de biogás.....	11
Figura 5: Digestión anaeróbica.....	13
Figura 6: Esquema de un biodigestor.....	16
Figura 7: Tipo de biodigestor 1.....	16
Figura 8: Tipo de biodigestor 2.....	17
Figura 9: Residuos ganaderos para biogás.....	19
Figura 10: Diseño de plantas de biogás.....	22
Figura 11. Arduino UNO.....	24
Figura 12. Termopar Tipo K con módulo MAX6675.....	25
Figura 13. Sensor de presión MPX4250AP.....	26
Figura 14. Sensor de humedad HL-69.....	26
Figura 15. Sensor de gas MQ-4.....	28

	Pág.
Figura 16. Modelos Estadísticos.....	29
Figura 17. Estadística Básica.....	30
Figura 18. IDE Minitab.....	31
Figura 19. PERT.....	32
Figura 20. Sistema de biodigestión empleado.....	34
Figura 21. Trampa de agua.....	34
Figura 22. Receptor de biogás acumulado.....	35
Figura 23. Entrada al rancho Valle de Guadalupe.....	35
Figura 24. Colocación del equipo dentro del rancho.....	36
Figura 25. Residuos de ganado vacuno empleados para la producción de biogás	36
Figura 26. Establos toma de estiércol.....	37
Figura 27. Caja de control adjunta al biodigestor.....	38
Figura 28. Se muestra el sistema embebido.....	39
Figura 29. LCD Display.....	40
Figura 30. Modulo Micro SD.....	40

	Pág.
Figura 31. Amplificador AD620.....	40
Figura 32. Cable jumper dupont.....	41
Figura 33. Protoboard.....	41
Figura 34. Fuente de voltaje.....	41
Figura 35. Cronograma de actividades general.....	43
Figura 36. Numero de dato vs concentración de biogás.....	45
Figura 37. Numero de dato vs % humedad.....	45
Figura 38. Numero de dato vs presión diferencial.....	46
Figura 39. Numero de dato vs temperatura.....	47
Figura 40. Vista isométrica en SolidWorks del biodigestor.....	48
Figura 41. Propuesta de mejora del biodigestor.....	48
Figura 42. Gráfica de XR de PPM.....	49
Figura 43. Gráfica de XS de PPM.....	50
Figura 44. Histograma de PPM.....	50
Figura 45. Histograma de HUM.....	51

	Pág.
Figura 46. Histograma de PRES.....	51
Figura 47. Histograma de TEMP.....	52
Figura 48. Desarrollo de actividades por tiempo.....	52
Figura 49. Diagrama Gant.....	53
Figura 50. Diagrama de la ruta crítica.....	53

I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca al estudio de procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de dispositivos, sistemas programables y procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere a la obtención de biogás empleando un biodigestor automatizado de bajo volumen y residuos de ganado vacuno (estiércol de vaca). Se estudia la producción de biogás para sus posibles aplicaciones como un recurso alternativo energético no convencional.

El biogás es un recurso energético alternativo que puede ser producido por la descomposición de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos metanogénicos dentro de contenedores denominados biodigestores. Siendo un proceso que puede llevarse a bajo volumen para posteriormente escalar a volúmenes mayores. Para lo anterior, es necesario monitorear el proceso de producción de biogás en biodigestores de bajo volumen para cuantificar su capacidad de generación del biocombustible y posteriormente proponer un proceso de volumen mayor.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue establecer un proceso de bajo volumen de producción de biogás, así como un sistema de monitoreo automatizado para lograr registrar variables de operación.

En particular, se empleó estiércol de vaca y se colocó bajo un proceso de digestión anaeróbica y registrar variables como temperatura, presión diferencial,

humedad y concentración de metano (CH₄) para posteriormente aplicar técnicas estadísticas o análisis de datos. Donde todos los sensores están controlados por un lenguaje programable en Arduino habilitado para toma de datos *in situ* 24/7.

La presente propuesta consistió en construir una base de datos experimental que permita ser empleada en trabajos futuros para analizar la viabilidad de escalamiento del equipo y considerar una propuesta a mayor escala como una sugerencia para generar energía térmica o eléctrica sustentable.

1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

Misión

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista, a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

Visión

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

Objetivos de la empresa

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación

- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

Valores

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.
- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan a la puesta en operación de un biodigestor de bajo volumen para obtener una base de datos experimental y aplicar un análisis estadístico para proponer un escalamiento del proceso.

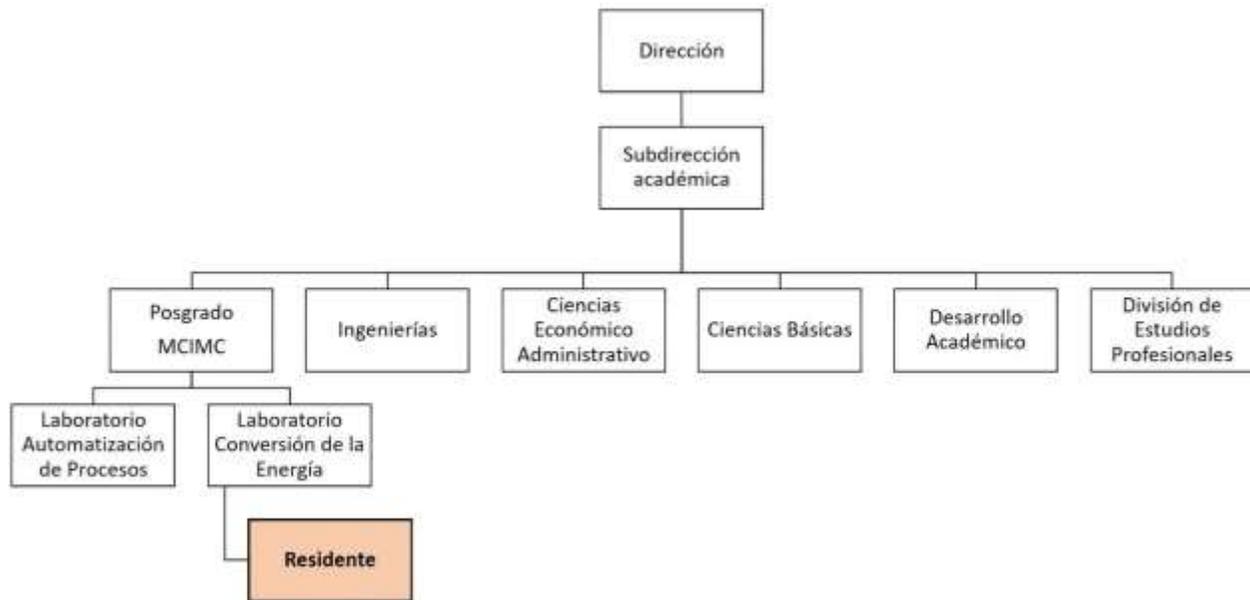


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.3 Problema(s) a resolver

Un equipo biodigestor permite generar biogás mediante un proceso de digestión anaeróbica que se lleva a cabo en su interior gracias a la presencia de biomasa y microorganismos metanogénicos. Sin embargo, se deben cuantificar las capacidades de producción de biogás, según la biomasa empleada y el volumen del equipo para poder establecer un proceso sustentable de obtención del biocombustible para su futura aplicación en la generación de energía térmica o eléctrica.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1.- Registro de datos de producción de biogás

- Estudiar y establecer un proceso de digestión anaeróbica dentro de un biodigestor de bajo volumen.
- Definir condiciones de operación y límites de control de un proceso de producción de biogás mediante la puesta en marcha de un biodigestor de bajo volumen.

- Registrar 24/7 un proceso de producción de biogás a través del monitoreo de variables de operación.

2. – Escalamiento de proceso

- Sugerir una propuesta de escalamiento del proceso a nivel planta piloto para trabajos futuros.

El registro de las variables de operación permite construir una base de datos experimental para cuantificar la producción de biogas en un biodigestor de bajo volumen y poder sugerir un escalamiento del proceso para su futura aplicación en la generación de energía térmica o eléctrica.

1.4 Justificación

En los últimos años el fomento al uso de energías renovables, como el biogás, ha marcado una tendencia para el establecimiento de políticas gubernamentales que propicien el uso de esta tecnología debido a su fácil implementación, sobre todo en sectores rurales, donde se tiene gran disponibilidad de residuos de origen vegetal y animal propensos a la fermentación metanogénica o en su caso por su capacidad de generar energía térmica o eléctrica a partir del biogás. Dentro de este panorama, el método más común para producir biogás es la digestión anaeróbica que se realiza dentro de un biodigestor donde la descomposición, fermentación y gasificación de la materia orgánica producen una mezcla de gases combustibles, compuestos por metano y dióxido de carbono principalmente donde su porcentaje de contenido es dependiente del tipo de materia prima considerada. En las últimas décadas se han reportado diversos estudios centrados en el análisis de procesos de biodigestión anaerobia, producción de biogás o uso de biodigestores para demostrar su viabilidad. Dentro de este contexto, se destacan los estudios referentes a la optimización de la producción de biogás en donde se estudia el monitoreo y control de las magnitudes físicas del proceso como lo es la temperatura, el valor de pH, el contenido de humedad, la demanda química de oxígeno, entre otras.

A pesar de la amplia disponibilidad de información en la literatura y de los avances tecnológicos de hoy en día, se sigue estudiando la forma de aprovechar eficientemente el uso de la biomasa como fuente de energía renovable para la producción de biogás. Cuanto más que los sistemas biodigestores prefabricados o hechos a la medida no cuentan con un sistema capaz de monitorear, controlar y registrar las variables del proceso de biodigestión anaeróbica con el fin de aprovechar al máximo la energía del sustrato y generar biogás de una forma controlada, eficiente y eficaz

Debido a su gran disposición de biomasa en el sector ganadero y que muy poco le asignan un valor agregado, principalmente en pequeños establos, la presente propuesta de establecer un proceso de producción de biogás permitirá establecer una propuesta de escalamiento de un biodigestor para poder implementarse en pequeños establos de ganado a nivel escala piloto.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Monitorear el funcionamiento de un biodigestor de bajo volumen mediante el registro de las variables de operación del sistema para producir biogás y realizar una propuesta de escalamiento a nivel planta piloto.

1.5.2 Objetivos específicos

- Estudiar métodos de biodigestión anaeróbica mediante una revisión exhaustiva de la literatura para identificar las operaciones unitarias del proceso.
- Identificar las variables de operación de producción de biogás mediante revisión de la literatura para la puesta en operación de un biodigestor.
- Llevar a cabo procesos de producción de biogás mediante el uso del equipo desarrollado para validar el proceso a escala de laboratorio propuesto.
- Monitorear el proceso de biodigestión mediante un sistema de medición para registrar los valores de las variables de operación presentes.

- Aplicar técnicas estadísticas mediante el análisis del proceso para estimar el comportamiento del escalado del proceso.
- Realizar una propuesta del proceso a nivel planta piloto mediante el escalamiento del proceso para trabajos futuros de investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero – causantes del cambio climático – ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.¹

Las energías renovables son aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza, gracias a la gran cantidad de recursos existentes o por la generación inagotable y renovable de los mismos. Los diferentes tipos de energías renovables vendrían a sustituir a algunas fundamentales para el día a día, pero que no son inagotables: el carbón, el gas y el petróleo. Las energías renovables se obtienen de fuentes naturales: el sol, el agua, el aire y la energía geotérmica (proveniente del calor interno del planeta). Y aunque pueden en algún momento significar un impacto ambiental, este es mínimo comparado con las de uso convencional y no renovables antes mencionadas.²

Se incluyen las fuentes y tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, energía eólica, energía hidráulica, minihidráulica, maremotriz, energía proveniente de la biomasa (incluyendo biocombustibles) y la energía geotérmica. La energía renovable es cualquier forma de energía de origen solar, geofísico o biológico que se renueva mediante procesos naturales a un ritmo igual o superior a su tasa de utilización. Se obtiene de los flujos continuos o repetitivos de energía que se producen en el entorno natural y comprende tecnologías de baja emisión de carbono, como la energía solar, la hidroeléctrica, la eólica, la mareomotriz y del oleaje, y la energía térmica oceánica, así como combustibles renovables tales como la biomasa.³

En la Figura 2, se muestra una perspectiva de la transición energética hacia las energías renovables, la cual es el objetivo principal de las ventajas de estas energías.



Figura 2. Transición energética hacia las energías renovables.

2.2 BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles han existido toda la vida e incluso personajes importantes que han aportado grandes descubrimientos han apostado por estos recursos, al paso del tiempo se fueron descubriendo grandes campos de petróleo por lo que se mantuvo un combustible denominados como gasolina y diésel con un coste muy barato durante mucho tiempo.

Lo que sustituyo a los biocombustibles haciéndolo de menor importancia, por otro lado, con el aumento del precio del petróleo se ha observado un gran problema en el planeta ya que el calentamiento global es causado por grandes cantidades de dióxido de carbono haciéndolo un fuerte problema para el medio ambiente, los biocombustibles han vuelto a ser un tema de gran interés para la mayoría de las personas que apuestan por un biocombustible que sea amigable con el planeta y la economía.⁴

La gasolina y el diésel son biocombustibles prehistóricos y son conocidos como combustibles fósiles, es producido por plantas y restos de animales enterrados por millones de años, son similares a los biocombustibles solo que ahora son fabricados por plantas actuales un ejemplo claro es el etanol ya que es un material echo de maíz dado a que este esta transformado por un tratamiento muy detallado, se toma en cuenta la existencia de diversas formas de producir biocombustibles, como la fermentación y el

calor esto para una mejor descomposición de materia refinándolos para producir un combustible que usen los automóviles.

Los biocombustibles son una solución para los automóviles ya que estos producen dióxido de carbono y es un gas de efecto invernadero causante de un calentamiento global, la gran importancia de los biocombustibles son recursos renovables el cual se puede cultivar para producir más biocombustible, ver Figura 3.

Se considera una mejora eficiente al hacer biocombustible al utilizar gramíneas y arboles pequeños que contengan un gran potencial en celulosas ya que es un material muy resistente por su vegetación el cual es importante para las plantas es más eficiente como biocombustible haciendo menos dióxido de carbono y no afectando de gran manera a la atmosfera.



Figura 3: Biocombustible.

2.3 BIOGÁS

Dado a que es una fuente de energía renovable principalmente compuesta por metanol y dióxido de carbono, esto se es generalmente obtenido por la biodegradación de una materia orgánica que no es expuesta al oxígeno, su función es muy clara cumpliendo con una función para el medio ambiente recolectándose dentro del proceso de residuos de origen animal.

El biogás es muy importante, así como otros combustibles dado a que tiene múltiples funciones, ya que genera calor y electricidad al igual que es apto para la

combustión de automóviles estos con el fin de ser adaptados a un nuevo sistema que trabaje con biogás, ver Figura 4.

Como biocombustible cuenta con grandes beneficios para el medio ambiente por la sencilla razón que no es causante de un cambio climático como otros biocombustibles tradicionales al no producir dióxido de azufre no permite descontrol en las lluvias haciéndolas libres de ácidos disminuyendo monóxidos de carbono y de hidrocarburos a diferencia de otros y haciéndolo totalmente independiente de combustibles fósiles.⁵

No solo es usar residuos ganaderos como materia prima desde otro punto de vista es una gran oportunidad para zonas escasas de recursos como servicios eléctricos, este puede generar y suministrar electricidad y como beneficio el biogás a diferencia de otras fuentes de energías renovables da como resultado mejor seguridad en el abastecimiento energético por lo que no se limita a las condiciones climáticas.

Existen iniciativas diferentes para mejorar procesos de generación de biogás, por lo que se toma en cuenta la presencia de distintos proyectos para la optimización de digestión anaeróbica de un proceso que sea bueno para obtener biogás dando oportunidades a estudiar más a fondo mediciones esto con el paso del tiempo identificar ácidos grasos e incluso volátiles dentro de todo mantener un sistema controlado en planta.



Figura 4: Composición de biogás.

2.4 DIGESTIÓN ANAERÓBICA⁶

La digestión anaeróbica (DA) es un proceso biológico que utiliza microbios para biodegradar la materia orgánica (materia prima) en ausencia de oxígeno. Proporciona una gran cantidad de beneficios en el tratamiento de corrientes de efluentes desafiantes al tiempo que ofrece la oportunidad de generar valor en el proceso. Esta produce energía en forma de biogás, uno de los recursos más valiosos típicamente recuperados del proceso. El biogás producido contiene hasta un 70% de metano, que puede utilizarse para alimentar generadores eléctricos para reducir así las facturas de energía de la planta de tratamiento. Algunas plantas se convierten en energía neta cero, o incluso producen un excedente de energía que se puede vender.

Para producir metano, los digestores anaeróbicos se calientan para producir un ambiente adecuado para los microorganismos que digieren la materia prima, que puede incluir estiércol, restos de comida, grasas, aceites y lubricantes (FOG, por sus siglas en inglés), desechos orgánicos industriales y lodos de depuradora. El biogás, un subproducto de la digestión, se eleva a la parte superior del digestor y luego se recoge.

Puede alimentar motores para producir energía mecánica, calor o electricidad que puede alimentar hornos, calderas y digestores, así como también vehículos eléctricos y abastecer hogares y negocios a través de la tubería de gas natural.

Para aumentar el valor, el biogás con frecuencia se procesa para eliminar dióxido de carbono, agua y otros contaminantes. El biogás de grado inferior generalmente se usa en motores de combustión interna, mientras que los grados superiores se reservan para motores más eficientes y sensibles. Un mayor procesamiento puede actualizar el biogás a gas natural comprimido (GNC) o gas natural licuado (GNL) para alimentar vehículos.

La digestión anaeróbica comienza con la hidrólisis bacteriana de la materia prima para degradar los polímeros orgánicos insolubles como los carbohidratos, haciéndolos digeribles para las bacterias acidógenas, que luego convierten los azúcares y aminoácidos resultantes en hidrógeno, amoníaco, dióxido de carbono y ácidos orgánicos, ver Figura 5. Las bacterias acetogénicas luego convierten los ácidos orgánicos resultantes en ácido acético, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono. Los metanógenos finalmente transforman el ácido acético y el hidrógeno en dióxido de

carbono y metano. Los digestores anaeróbicos pueden emplear diferentes tipos de sistemas, incluyendo la laguna cubierta, flujo de tapón, mezcla completa, digestor por lotes, reactor general inducido y digestor de película fija, pero todos funcionan de acuerdo con los pasos anteriores, independientemente de la materia prima. La digestión simultánea ocurre cuando diferentes tipos de materias primas se usan juntas en el mismo digestor.

Los productos resultantes, sólidos, líquidos o gaseosos, luego se mueven para su separación, tratamiento y almacenamiento. El biogás pasa a un sistema de manejo de biogás para su procesamiento, transporte y uso.

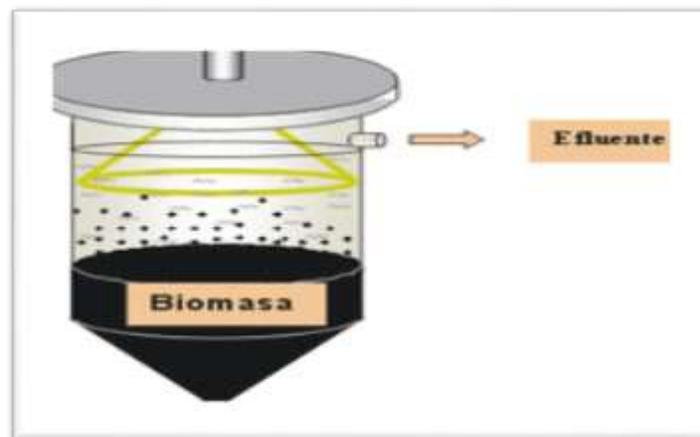


Figura 5: Digestión anaeróbica.

2.5 BIODIGESTORES⁷

Un biodigestor es un sistema natural y ecológico (contenedor) que aprovecha la digestión anaeróbica o ausencia de oxígeno de las bacterias para convertir cualquier residuo orgánico en gas y fertilizante.

El objetivo de este es transformar residuos orgánicos en gases y, a la vez, reducir las emisiones a la atmósfera con el propósito de obtención de energía, permitiendo bienestar económico, desarrollo social y cultura ambiental. Transformar residuos orgánicos en gases y, a la vez, reducir las emisiones a la atmósfera con el propósito de obtención de energía, permitiendo bienestar económico, desarrollo social y cultura ambiental.

Beneficios de un biodigestor:

1. Produce biogás naturalmente, que es combustible.
2. Evita el uso de leña que contribuye a la deforestación.
3. Permite aprovechar residuos orgánicos.
4. El lodo producido en el proceso genera fertilizante.
5. Promueve el desarrollo sustentable evitando la emisión de gases de efecto invernadero.
6. Elimina problemas de sanidad: evita malos olores, insectos y controla los microorganismos capaces de generar enfermedades.
7. Obtención de beneficios adicionales por la venta de bonos de carbono.
8. Cumple con la normatividad nacional e internacional.
9. Impide la contaminación de mantos acuíferos.
10. Permite tener personal especializado en esta rama.
11. Existe la opción de incursionar en proyectos de vanguardia.

Desventajas y riesgos:

1. Su ubicación debe estar cercana al almacén donde se tiene la materia orgánica.
2. La temperatura debe ser entre 15 y 60°C, lo que encarece el proceso en climas fríos.
3. El biogás dentro de su composición tiene el subproducto llamado sulfuro de hidrógeno, que es un gas tóxico al ser humano y corrosivo a todo equipo del proceso.
4. Existe riesgo de explosión o incendios, en caso de no cumplirse las normas de seguridad, mantenimiento y del personal.

Se debe determinar siete variables que influyen en el buen desempeño. La primera es el monto de capital que está dispuesto a gastar; segundo es la cantidad y calidad de biogás que se quiere obtener; tercero es el tipo de la materia prima con que se cuenta; cuarto el tamaño del biodigestor; quinto las características del terreno; sexto el uso que se le dará al abono orgánico y por último, la temperatura del lugar donde se instalará ya sea a nivel de ambiente o invernadero.

Dentro de los anteriores factores técnicos, se evalúa el residuo orgánico, la composición de acuerdo a la relación carbono e nitrógeno, la intensidad de agitado en el mezclado hasta que se tenga el pH de 7-7.2 y la existencia de bacterias formadoras de metano conjuntamente con la temperatura del proceso de fermentación: Psicrófila (15-18 °C), Mesófila (28-33°C), Termófila (50-60 °C).

En el mercado tecnológico solo existen dos formas:

- Biodigestor de flujo discontinuo (BFD): Es aquel en donde el residuo se deposita al inicio del proceso y la descarga se hace hasta que finaliza; requiere de mayor mano de obra, un espacio para almacenar la materia prima y un depósito de gas.
- Biodigestor de flujo continuo (BFC): Son aquellos en donde el residuo se descarga de manera continua o por lo menos una vez al día, requiere de menos mano de obra, de una mezcla más fluida o movilizada de manera mecánica y un depósito de gas.

La materia prima que se emplea en este equipo en específico son residuos agrícolas que son todos los desperdicios agropecuarios y cultivos energéticos, residuos sólidos urbanos que son toda materia orgánica desechada y productos que produzcan gases dentro de la basura, así como residuos industriales que no se aprovechan al máximo quedándole poder calorífico. Las aguas residuales son descarga a drenaje, las cuales llevan una cantidad de materia orgánica disuelta abundante que puede ser aprovechada. En su defecto, hay varios sustitutos en el caso de contingencia se mezcla uno con otro o con todos, y se obtendrá el mismo resultado. Los estados de materia en que se encuentran son líquidos, semisólido y sólido, siendo éstos de fácil manera de conseguir.

La estructura de un biodigestor consta de dos partes, ver Figura 6:

- a. Cámara de fermentación en donde la biomasa sufre la descomposición.
- b. Cámara de almacén de gas.

Existen también las siguientes, pero varían según el tipo de biodigestor, ver Figura 7 y 8:

- La pila de carga. Ingresa el residuo.
- La pila de descarga. Se obtiene el residuo usado.
- El agitador. Remueve los residuos.
- La tubería de gas. Salida para su uso.



Figura 6: Esquema de un biodigestor.



Figura 7: Tipo de biodigestor 1.



Figura 8: Tipo de biodigestor 2.

2.6 RESIDUOS GANADEROS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Se tiene una serie de variables características de los diferentes tipos de residuos a tener en cuenta para posibilitar el desarrollo del procedimiento:

- I. Volumen de residuo disponible.
- II. Potencial contaminante del residuo.
- III. Potencial de producción de biogás.
- IV. Contenido en metano del biogás generado.
- V. Relación Carbono: Nitrógeno del residuo.
- VI. Capacidad tampón del residuo: Alcalinidad.
- VII. Subproductos generados en la reacción: Posibilidades de inhibición de la reacción.
- VIII. Cantidad de sólidos volátiles del residuo.
- IX. Necesidad de pretratamiento.

Los residuos más utilizados para la generación de biogás:⁸

- Residuos ganaderos y de granjas: Purines de cerdo y vaca, estiércoles, gallinaza. En general, su potencial para la producción del biogás no es demasiado alta, debido a su alto contenido en nitrógeno y a su excesiva liquidez para el proceso. No obstante, por causa de su poder contaminante de suelos y por la abundancia de recurso, sumado a la ausencia de tratamientos eficientes de valorización, los residuos ganaderos constituyen el combustible por

excelencia para la generación de biogás mediante digestión anaerobia, ver Figura 9.

- Residuos agrícolas: Los restos agrícolas procedentes de cultivos de consumo, cultivos energéticos o de generación de materias primas para la industria alimentaria constituyen un sustrato apropiado, en general, para la digestión anaerobia. No obstante, la tipología del material usado, en función de la carga orgánica que posea, genera una gran variabilidad en el potencial de biogás existente en el residuo. Además, presenta la problemática de estar sometido a la estacionalidad del recurso (en general).
- Residuos de la industria alimentaria: El procesado de las materias primas animales y vegetales para la elaboración de productos alimenticios genera abundantes residuos susceptibles de ser aprovechados para la producción de biogás. Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen unos residuos con alta carga de materia orgánica, muy adecuados para el aprovechamiento energético. No obstante, en función del tipo de residuo, puede ser necesario un pretratamiento previo para maximizar el potencial de generación de biogás.
- Biogás de vertedero: Existen vertederos que cuentan con sistemas de aprovechamiento del biogás, mediante la colocación de una red de tuberías y chimeneas que reconducen el biogás que se genera hasta los motores para generación eléctrica. De este modo se aprovecha de forma pasiva la emisión gaseosa de la fermentación de los vertidos para la generación de un biogás con bajo contenido en metano.



Figura 9: Residuos ganaderos para biogás.

2.7 DISEÑOS DE PLANTAS DE BIOGÁS⁹

En general, las plantas de biogás simples que se conocen pueden ser divididas en tres tipos. El diseño y dimensionamiento de un biodigestor depende, en lo fundamental, de los factores siguientes:

- I. Tipo y composición del material orgánico que se debe emplear para la biodigestión.
- II. Demanda de biogás y de biofertilizante.
- III. Materiales de construcción que se deben emplear.
- IV. Tecnologías constructivas apropiadas. e) Facilidad de explotación y mantenimiento.
- V. Posibilidad económica del usuario. Estos seis factores pueden ser resumidos en dos:
- VI. Factibilidad de la inversión (necesidad y condiciones creadas).
- VII. Características y situación económica del usuario.

Las plantas de tecnología simple, según el régimen de carga o llenado, se clasifican en dos tipos fundamentales: de flujo continuo, mayormente empleadas para la obtención de volúmenes considerables de gas; y las de flujo discontinuo o Batch, para pequeñas producciones de biogás. La gran ventaja de las primeras es que las bacterias metanogénicas reciben un suministro estable del material orgánico, por lo que producen biogás de manera más uniforme.

Las plantas de tecnología simple más empleadas, y de flujo continuo, pueden agruparse en dos tipos ampliamente desarrollados en la práctica:

- a. Planta de cúpula móvil, en la cual el gasómetro (compuesto generalmente por planchas metálicas) flota sobre el material orgánico en fermentación.
- b. Planta de cúpula fija, en la que el gas se almacena en la parte superior debido al desplazamiento gaseoso.

Clasificación de las plantas de biogás simples más empleadas:

- Su construcción se realiza con paredes de bloques de hormigón y cúpula de ladrillos, y se emplean otros materiales conocidos, como cemento, arena, piedra y acero constructivo, que aseguran una alta resistencia y durabilidad de la obra.
- No presentan partes móviles propensas al desgaste, así como tampoco partes metálicas que faciliten la corrosión.
- Su tiempo de vida útil se extiende a más de veinte años.

Diseños de biodigestores de cúpula fija empleados en diferentes regiones del mundo. La evolución de los biodigestores de cúpula fija, que ha tenido su expresión más acabada en el modelo Nicarao, ha permitido introducir otras ventajas:

- Posibilidad de hacer extracciones del lodo digerido, sistemáticamente, sin alterar su funcionamiento, lo que permite un mejor aprovechamiento del lodo y extiende los plazos de mantenimiento.
- Mejor aprovechamiento de la excavación.
- Mejor acceso al biodigestor, tanto durante la obra como para futuros trabajos de revisión.
- Simplificación del método de construcción, lo que permite disminuir el tiempo de ejecución (de 10 a 15 días). Su desventaja principal radica en la necesidad de personal calificado para su construcción, y de una inspección periódica y monitoreo por parte de técnicos especializados.

Cuando el volumen del biodigestor excede los 100 m³ se utilizan, por lo general, otras tecnologías más complejas, como son:

- a. Fermentador de contacto. Una parte del material orgánico ya digerido es reciclado a un reactor de mezcla continua, donde se incorpora material orgánico crudo y se asegura una alta concentración de bacterias metanogénicas.
- b. Biodigestor de manto de lodo de flujo ascendente. Su configuración hidráulica produce una capa de sólidos suspendidos con gran contenido de bacterias, lo que asegura un alto grado de biodegradación.
- c. Biodigestor de cama fija. Constituido por un lecho o filtro de piedras, piezas de cerámicas o plásticas, etc., que producen un área de adherencia de las bacterias. Se emplea para líquidos con poco contenido de sólidos en suspensión.
- d. Digestión de fases. Las fases de digestión ácida y metanogénica son producidas separadamente, lo que asegura las condiciones óptimas para lograr el mayor rendimiento en la biodegradación y, por tanto, en la producción del biogás. Estos biodigestores, de más de 100 m³, suelen emplear gasómetros separados del biodigestor y son utilizados generalmente como (objetos de obra) dentro de un sistema de tratamiento, aunque ello se ha logrado también con el sistema constructivo de cúpula fija.

Los tipos de biodigestores expuestos hasta aquí, que exigen un alto rigor técnico y una disponibilidad económica adecuada, no siempre son atractivos para dar respuesta a los usuarios con limitaciones financieras y que con esfuerzos propios pretenden construir una planta de biogás confiable.

Por tal motivo, se trabaja en el desarrollo de un concepto que integra la situación y posibilidades del usuario a un diseño que abarata los costos de estas instalaciones y disminuye su área.

Los diseños de estos modelos, denominados GBV, no se ciñen a un solo tipo de material ni forma, sino abarcan una diversa gama de posibilidades y situaciones que enfrentan los usuarios que saben comprender la esencia del biogás. El diseño del modelo GBV se concibe a partir de las bondades del citado modelo Nicarao, por lo que pueden considerarse dentro de la referida evolución.

Los modelos GBV, diseñados para condiciones específicas, requieren obligatoriamente de un reconocimiento minucioso del lugar y de una encuesta a los

usuarios (metodología GBV), que de una u otra forma intervienen en el diseño, ver Figura 10.

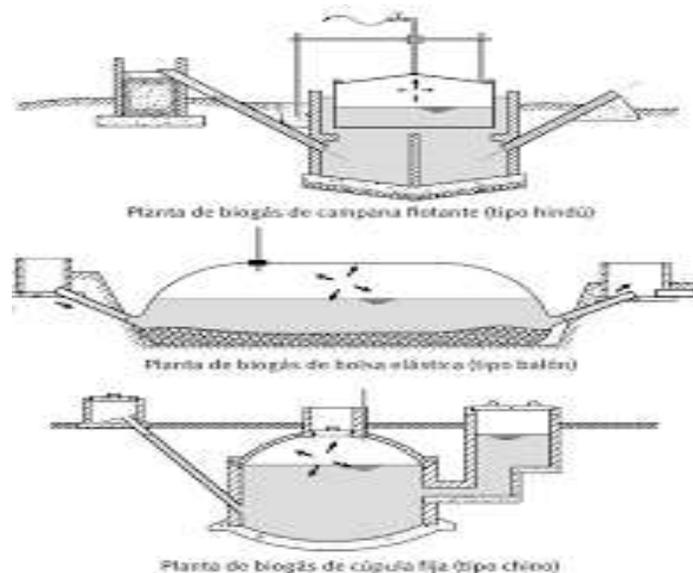


Figura 10: Diseño de plantas de biogás.

2.8 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS BIOQUÍMICOS¹⁰

La automatización consiste en diseñar procesos o workflows, con el fin de usar la capacidad de los sistemas para llevar a cabo determinadas tareas que anteriormente eran realizadas por seres humanos, pudiendo ser controladas, corregidas y visibles a través de dichos flujos. En escenarios altamente competitivos, por ello no podemos perder el tiempo en tareas repetitivas; que si bien, son necesarias, pero pueden aportar poco valor. La optimización del proceso es acortar el tiempo, deshacer actividades no productivas y controlar los parámetros establecidos en el proyecto. El beneficio es la retroalimentación, la cual permite evaluar, comparar y hacer correcciones en dicho tiempo. Así mismo permite programar tareas y planificar sin alguna supervisión.

Beneficios de la automatización de procesos:

- Se permite controlar y continuar con el seguimiento de dicho proceso en tiempo y forma detallada, conociendo su nivel de forma inmediata.
- Acortar el tiempo del proceso (inicio y término).

- Erradicar el intercambio de información por medios de comunicación (correo, archivos Word y excel, etc).
- Reconocer claramente lo ocurrido en cada etapa de dicho proceso por medio del registro que se obtiene de cada actividad.
- Detección de cuellos de botellas o actividades repetitivas a las que no generan valores importantes en el proceso.
- Establece reglas o políticas para ejecutarlas a diversos procesos visibles.
- Recibir mediante notificaciones automáticas alertas de lo que pasa o deja de pasar en cualquier punto del proceso.
- Ayuda a la búsqueda de información al tenerla localizada.
- Obtener resultados con el mínimo desempeño y presupuesto y este no contenga variabilidad.

Para llevar a cabo la medición de variables de manera automatizada se emplean unos componentes llamados sensores. El término "sensor" se refiere a un elemento de medición que detecta la magnitud de un parámetro físico y lo convierte en una señal que puede ser procesada por el sistema. El elemento activo de un sensor se conoce generalmente como transductor. Cuando se diseñan sensores y transductores, siempre hay una ley o principio físico o químico que relaciona la cantidad de interés con un evento medible.¹¹

2.8.1 Tiempo

Con la facilitación de un procesamiento de datos y la inteligencia artificial que se aplica en la industria, esto nos garantiza una gran flexibilidad satisfaciendo de manera total lo que demandan los clientes que reclaman una asesoría personal.

La interconectividad ha permitido que sea en tiempo real y en todas las áreas que gestionan los desafíos que se presentan en un nuevo mercado.

Con el paso del tiempo se ha evolucionado la información para comprender que los datos analizados correctamente suelen ser una herramienta definitiva para llevar a cabo, áreas de trabajo eficientes y faciliten los procesos para ello llevar un alto nivel en tecnología a tiempo real.

Para medir el tiempo de manera automatizada se utiliza comúnmente las librerías de los microcontroladores denominadas Timer y que básicamente se declaran dentro del código de programación. En la Figura 11 se presenta una vista del microcontrolador Arduino, en el cual se puede configurar el Timer dentro de su algoritmo de control.



Figura 11. *Arduino UNO.*

2.8.2 Temperatura

Es la cantidad cinética de las partículas de diversos tipos de masa:

- Gaseosa.
- Sólida.
- Líquida.

Entre mayor sea la velocidad de partículas se obtendrá de mayor a menor temperaturas haciéndolo variable.

Para así estimar los tipos de escala en la cual se mide la temperatura

- Escala Celsius.
- Escala Fahrenheit.
- Escala kelvin.
- Escala Rankine.

Al medir las temperaturas se diferencia por unidades que representa por distintas escalas lo cual facilita por medio de un dispositivo llamado termómetro.

Para medir la temperatura de manera automatizada se utilizan sensores tipo termopares. En la Figura 12 se presenta una vista del termopar tipo k con módulo MAX6675.



Figura 12. Termopar Tipo K con módulo MAX6675.

2.8.3 Presión

Se define como una fuerza sobre un área respecto a que, si esta fuerza se aplica normal, puede ser uniforme; entre mayor sea esta magnitud la presión se utiliza al respecto del área.

Tipos de presión:

- Absoluta.
- Relativa.
- Diferencial.
- Atmosférica.
- Cero.

Para medir la presión de manera automatizada se utilizan sensores de presión. En la Figura 13 se presenta una vista de un sensor de presión diferencial.



Figura 13. Sensor de presión MPX4250AP.

2.8.4 Humedad

Se encuentra en cantidades de vapor de agua expuesta en el aire se expresa de dos formas y es absoluta o relativa, puede ser medible utilizando distintos métodos.

- Presión de vapor.
- Humedad específica.
- Humedad absoluta.
- Mezcla.
- Relativa.

Al igual existe un dispositivo que sirve para medir la humedad y es conocido como higrómetro mide el grado de humedad en el aire, así como también otros gases

Para medir la humedad de manera automatizada se utilizan sensores de humedad. En la Figura 14 se presenta una vista de un sensor de HL-69.



Figura 14. Sensor de humedad HL-69.

2.8.5 Concentración de gas metano

Gas metano altamente inflamable natural por lo que lo hace ser un compuesto orgánico ya que se usa como un combustible para generar calefacción e incluso electricidad en el mundo debido a su concentración que se tiene almacenada en cámara de descomposición de materia orgánica como bien puede ser bajo un nivel o expuesto a la intemperie.

Lo más práctico al paso del tiempo se ha desarrollado bajo depósitos subterráneos por lo que se someten a presión y temperaturas altas debido a esta concentración se puede utilizar para calentar líquidos generar vapor, así como también electricidad haciéndolo amigable para él, medio ambiente.

Ventajas del gas metano.

- Se puede utilizar 2 o 3 veces a la vez.
- Es fácil su instalación.
- Económico.
- Eficiente y abundante.
- Barato en el mercado y tiene un precio estable.

Principales fuentes productoras de metano:

- El proceso de descomposición de la materia orgánica con ausencia del oxígeno.
- Proceso de digestión de los animales.
- Actividades microbianas de aguas servidas (residuales).
- Acumulaciones por hidrocarburos.

La concentración de metano en la atmosfera, se ha tornado de manera diferente a su normalidad por lo que su incremento lo es por actividades humanas, debido a que en las industrias agrícolas ganadera generan y liberan este gas por la descomposición de biomasa, por lo que la industria extractiva de carbón y petróleo actúan como liberadores de metano en la atmosfera ya que deterioran la capacidad natural de la atmosfera y en general.

Para medir la concentración de gas metano de manera automatizada se utilizan sensores de gas. En la Figura 15 se presenta una vista de un sensor de gas MQ-4 específico para gas metano/gas natural.



Figura 15. Sensor de gas MQ-4.

2.9 MODELOS ESTADÍSTICOS¹²

Los modelos estadísticos son herramientas para algunas realidades o predicciones mediante fórmulas y ecuaciones matemáticas. Algunos modelos tratan los datos de diferentes maneras dependiendo de las variables que se necesiten. Estos implican variables explicativas de una variable dependiente.

La variable dependiente es aquella que se quiere explicar o predecir. Entonces las independientes son usadas para evaluar las influencias que tienen en la variable dependiente. En los modelos las variables dependientes y las independientes pueden ser varias. Estas representan las variables dependientes en el eje Y de los gráficos. Las variables independientes, también llamadas variables explicativas generalmente se representan en el eje X, ver Figura 16.

La aplicación de un modelo estadístico no es una decisión sencilla. Ya que algunos conjuntos de datos requieren del diseño de un modelo adaptado al caso. Es por ende que cada herramienta de modelado responde a preguntas específicas. En muchas situaciones en las que se deben evaluar muchos aspectos, se debe recurrir a utilizar métodos complejos. Algunos tipos de métodos de modelado se adaptan a

ciertas circunstancias. Cada modelo estadístico suele tener su forma de representación gráfica. Las representaciones gráficas de las relaciones entre las variables pueden ser muy útiles. Ya que pueden ser curvas y no lineales, por lo que cada una requiere de los modelos más apropiados.

La mayoría requieren de métodos estadísticos como muestreo, simulación, diseño de experimentos, modelamiento estadístico e inferencia, para llevar a cabo recolección y el análisis de datos y para su interpretación. Algunos modelos estadísticos sirven para predecir una variable a partir de un número con un posiblemente correlacionadas. Los métodos disponibles permiten obtener nueva información de los datos y desarrollar modelos predictivos. Cada método tiene ciertos puntos fuertes y es más adecuado para determinados tipos de problemas. Lo ideal es que los resultados obtenidos siempre tengan un grado de aplicabilidad específico al mejoramiento de las condiciones evaluadas.

Tipos de métodos: modelos de clasificación, métodos de asociación y modelados por segmentación.

Las calidades de los modelos estadísticos se pueden evaluar usando criterios de información. La calidad corresponde a los tipos y número de variables dependientes y explicativas.

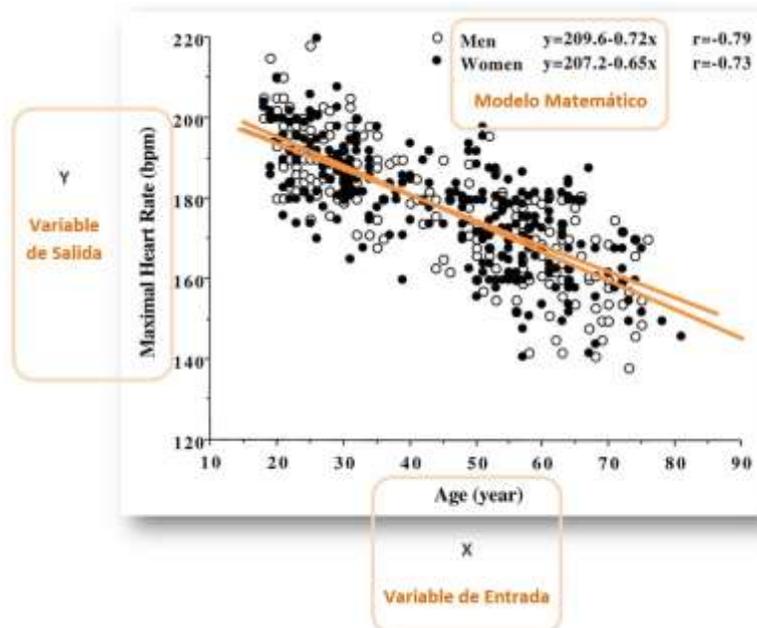


Figura 16. Modelos Estadísticos.

2.9.1 Estadística básica¹³

a) Media: Valor que es obtenido en la suma de todos los datos extraídos para dividir el resultado entre el número total de datos, se caracteriza por el símbolo \bar{X} al ser calculada se facilita que es lo que se quiere obtener.

b) Desviación estándar: Medida de dispersión más concurrente, que señala la dispersiva de los datos en la media, cuando mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos obtenidos. Se caracteriza por 2 símbolos σ sigma y s , sigma es para la desviación estándar de una población y s para la desviación estándar de una muestra.

c) La variación estándar posiciona un valor con referencia de estimar la variación de un proceso.

d) Varianza: La varianza mide principalmente la dispersión de los datos que se encuentran dentro de una muestra y con respecto a la media de los cuadrados de la distancia cuando la varianza es mayor o igual esta es 0 por que los datos son iguales.

e) Mediana: Conjunto de datos ordenados de izquierda a derecha ya que es un valor de conjunto del 50% ya que para ser calculado depende si este es par o impar.



Figura 17. Estadística Básica.

2.9.2 MINITAB¹⁴

Software para análisis estadísticos lo cual lleva una serie de pasos para los resultados y su orientación a lo que requiere el usuario, ver Figura 18.

- Explora datos con gráficas.

- Realiza análisis estadísticos.
- Evaluar la calidad.
- Diseño de experimentos.
- Usa métodos más sencillos y abreviados para automatizar análisis futuros.
- Presenta resultados.
- Prepara hojas de trabajo.
- Personaliza minitab como lo requiera el usuario.

Graficas Xr y Xs:

En la comparación de las gráficas r y s la que inicia se calcula de manera sencilla, así como su resultado es más sencillo, en otro caso la desviación estándar de una muestra del subgrupo en toda la gráfica s esta se calcula tomando todos los datos incluyendo los mayores y menores con el fin de que ambas graficas darán como resultado la misma variación conforme a los grupos mayores de 10 es para graficar con r por lo que sí es mayor el número de subgrupos es con s.

Histogramas:

Representación gráfica mediante datos agrupados representados por barras o puntos análisis de una frecuencia absoluta o relativa porcentuales.



Figura 18. IDE Minitab.

2.9.3 PERT/CPM¹⁵

Técnica que permite manejar una programación de un proyecto, por lo que es representada por una red de tareas y permite ver los objetivos del proyecto esta herramienta fue creada por la marina de estados unidos para la coordinación de construcción de misiles.

Se organiza por actividades y etapas representadas por la asignación y duración de la tarea.

Características del método CPM:

- se analizan todas las actividades del proyecto.
- organiza la relación de las actividades.
- La red es construida en relación a las diferentes actividades de precedencia.
- Analiza los costos y tiempos determinados en los proyectos.
- Identifica las rutas críticas y holguras que se encuentran en el proyecto.
- Es de buena ayuda para planear y supervisar el proyecto.

Ventajas de utilizar el método pert cpm:

Muestra de manera lógica como planificar y organizar un programa detallado, así como la muestra de comunicar los planes mediante la proyección de tiempo, personal y costo analizando los elementos y los problemas que puedan perjudicar el cumplimiento o la probabilidad de cumplir con éxito en los plazos programados por lo que es un método dinámico y este se es reflejado mediante el avance que tiene el proyecto en un plan de acción.

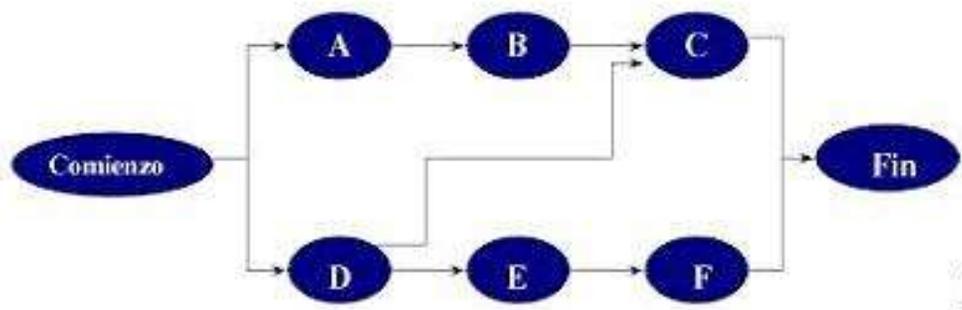


Figura 19. PERT.

III. DESARROLLO

3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

A continuación, se describe la metodología empleada en el desarrollo del presente proyecto.

3.1.1 Características del biodigestor empleado

Se empleó un equipo biodigestor desarrollado por Dena-Aguilar *et al.* (2020) en un trabajo previo, al cual se le aplicó reingeniería para poder habilitar un nuevo sistema embebido, una trampa de agua y un receptor del biogás generado.

El biodigestor consta de un contenedor de polietileno de alta densidad de 120 L previsto con tapa y cincho de seguridad. Cuenta con una entrada de alimentación mediante un tubo de PVC de 2" con tapa sanitaria y cuenta con una salida de gases por medio de una tubería galvanizada de 1/2" prevista con llave de salida.

El equipo opera bajo un funcionamiento tipo batch debido a que no cuenta con demás salidas de lodos o lixiviados (líquido biol) productos de la biodigestión de la materia orgánica empleada. El equipo se operó de manera hermética. Se empleó el equipo sobre la superficie para facilidad de toma de lecturas. Ningún equipo de agitación o de control de la temperatura fue implementado. En la Figura 20 se presenta una imagen del equipo empleado.

Como trampa de agua se empleó un recipiente de polietileno de 20L de capacidad adaptado para la entrada/salida de mangueras de conexión. Como receptor del gas generado se empleó una cámara de llanta de tractor agrícola, a la cual se le adaptó una manguera de entrada de gases. En la Figura 21 se observa la trampa de agua construida. En la Figura 22 se muestra el receptor empleado.

Esta fuera de alcance del presente proyecto presentar más a detalle la descripción de la reingeniería empleada.



Figura 20. Sistema de biodigestión empleado.



Figura 21. Trampa de agua.



Figura 22. Receptor de biogás acumulado.

3.1.2 Características de la biomasa empleada y puesta en operación del equipo

El equipo se instaló y se puso en operación en el Rancho Valle de Guadalupe ubicado en el Km. 2.0, carretera a Ejido California del Municipio de Rincón de Romos, Aguascalientes. En la Figura 23 se observa una vista del rancho sede del proyecto.



Figura 23. Entrada al rancho Valle de Guadalupe.

Para asegurar contar con suministro de energía eléctrica 24/7, se habilitó una toma de corriente de 50 m de la construcción más cercana. Lo anterior también por tema de seguridad para los operarios del equipo y residentes del lugar. En la Figura 24 se presenta el punto exacto de colocación del equipo dentro del rancho.



Figura 24. Colocación del equipo dentro del rancho.

Como materia orgánica se empleó estiércol “fresco” de vaca sin ningún tratamiento previo de humidificación o neutralización. Se estableció un volumen aproximado de trabajo para cada carga equivalente a $3/4$ de capacidad del equipo (aprox. 90 L). En la Figura 25 y 26 se visualiza el aspecto de la materia orgánica empleada, previa a su colocación en el biodigestor y, los establos de donde se suministró el estiércol, respectivamente.



Figura 25. Residuos de ganado vacuno empleados para la producción de biogás.



Figura 26. Establos toma de estiércol.

Ningún diseño experimental robusto fue empleado, simplemente se determinó operar el equipo con cargas de 20 días de permanencia en el biodigestor y registrar las 24 horas las variables de operación definidas. Por el alcance, objetivos y periodicidad del proyecto, solo se contemplaron 2 cargas a desarrollarse ambas en 50 días naturales (incluyendo días de cambio de carga y nueva puesta).

El desarrollo e interpretación del proceso biodigestión anaeróbica, el tipo de microorganismo presente, así como la caracterización de la materia orgánica empleada, está fuera de alcance del proyecto.

3.1.3 Sistema de monitoreo de variables de operación

Se determinó realizar el monitoreo de (1) la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (2) la presión diferencial (kPa), (3) la humedad (%) y (4) la concentración de gas metano (ppm) – biogás (CH_4) – alcanzados dentro del biodigestor durante la producción de biogás lograda.

Se empleó un sistema embebido para el monitoreo de producción de biogás previamente desarrollado por Dena-Aguilar *et al.* (2020) en un trabajo previo, al cual se aplicó una nueva reconfiguración de interfaz y conectividad de sensores y módulo de registro de datos por medio de expertos en el área de Mecatrónica, de tal manera que, fuera fácilmente para el residente realizar la supervisión de operación, observar el

registro de datos *in situ*, retirar el dispositivo de registro, descargar el archivo de datos generado y exportarlo a software procesador de textos grafico como Excel.

El sistema embebido se basa en electrónica modular para Arduino y todos los elementos se fijan en la caja de control. La caja de control consta de un gabinete tipo HIMEL hecho a la medida de dimensiones 152.4 x 96.6 x 203.2 mm prevista con tapa abatible y con ventanas. La caja de control se instaló a un costado del biodigestor (encima de la trampa de agua) por facilidad de conectividad e interfaz (se cuidó que no recibiera directamente los rayos del sol, ni tampoco se mojara). En la Figura 27 se muestra la parte externa de la caja de control adjunta al equipo.



Figura 27. Caja de control adjunta al biodigestor.

En la Figura 28 se muestra el sistema embebido.

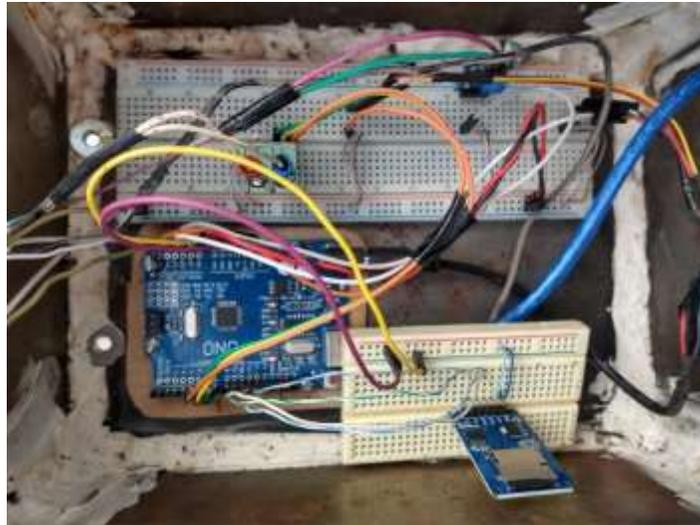


Figura 28. Se muestra el sistema embebido.

El sistema embebido consta de los siguientes elementos:

- Microcontrolador Arduino UNO ATmega328 con conexión a ordenador mediante cable USB y adaptador de corriente AC a DC, ver Figura 11.
- Sensor de temperatura Tipo K termopar 100mm con módulo MAX6675, ver Figura 12.
- Sensor de presión diferencial MPX5700DS, ver Figura 13.
- Sensor de humedad de suelo HL-69, ver Figura 14.
- Sensor de gas (metano/gas natural) MQ-4. Detección de gases en ppm, ver Figura 15.
- LCD Display 20x4 en fondo azul con módulo serial I2C 2004A integrado, ver Figura 29.
- Modulo Micro SD, ver Figura 30.
- Amplificador de instrumentación AD620, ver Figura 31.
- Cable jumper dupont varios tipos m-m, h-h, m-h varias medidas (cableado), ver Figura 32.
- Protoboard blanco de 830 puntos, ver Figura 33.
- Fuente de voltaje conmutada 12v 10A J-120-12, ver Figura 34.

De la Figura 29 a la 39, se muestran demás imágenes de los componentes del sistema de monitoreo. Las imágenes fueron tomadas de electrocrea.com.



Figura 29. LCD Display.



Figura 30. Modulo Micro SD.

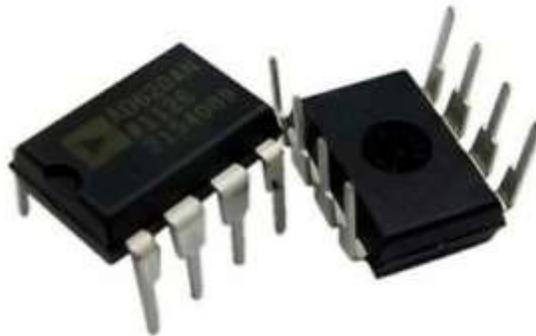


Figura 31. Amplificador AD620.



Figura 32. Cable jumper dupont.



Figura 33. Protoboard.



Figura 34. Fuente de voltaje.

Esta fuera de alcance presentar a detalle el funcionamiento electrónico y algoritmo de programación del sistema embebido de monitoreo empleado.

3.1.4 Análisis de resultados

El sistema de monitoreo genera un archivo de datos, el cual puede ser exportado a un software procesador de textos gráficos como Excel para construir graficas estadísticas.

Mediante graficas de numero de dato vs variable de operación, se generaron graficas de lecturas logradas con (i) el sistema embebido de monitoreo, (ii) la supervisión del proceso de producción de biogás del equipo y (iii) las cargas puestas en operación. La primera carga genero una base de datos de más de 42,000 registros durante los 20 días de operación.

En el presente estudio únicamente se presentarán los registros logrados de la primera carga.

Los datos de la segunda carga estarán disponibles para entregables futuros.

3.1.5 Escalamiento de proceso de nivel laboratorio a nivel planta piloto

En base a una revisión exhaustiva de la bibliografía disponible en la web, se hace una propuesta de escalamiento a nivel planta piloto del proceso de producción de biogás. La propuesta se realiza conforme un diseño en software CAD SolidWorks v.2018. Se describe una propuesta de equipo de mayor escala que podría ser empleado para un proceso a mayor escala al desarrollado en el presente trabajo.

3.1.6 Estadística básica

Se aplican herramientas estadísticas de media, mediana, rango, desviación estándar y varianza para los más de 40,000 datos de cada variable.

3.1.7 MINITAB

Mediante software MINITAB se obtienen graficas XR e Histogramas para los más de 40,000 datos de cada variable.

3.1.8 PERT/CPM

Se aplicaron las metodologías de PERT y CPM para determinar la ruta crítica de las actividades de producción de biogas. El proceso de producción de biogás se

muestra en forma gráfica donde se relacionan sus componentes de tal forma que se puede determinar cuáles actividades son cruciales para la realización del proyecto. Para aplicar estos métodos se tienen las actividades bien definidas con una secuencia dada, están definidas cuando deben comenzar, detenerse y conducirse y finalmente están ordenadas en tal forma que una siga a otra bajo la secuencia definida.

3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Revisión bibliográfica										
Determinación de variables de operación										
Pruebas de producción de biogás										
Monitoreo de proceso de producción de biogás										
Análisis estadístico										
Propuesta de escalamiento										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

Figura 35. Cronograma de actividades general.

IV. RESULTADOS

4.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS: MONITOREO DE VARIABLES DE OPERACIÓN

Enseguida se presentan los resultados de monitoreo obtenidos con la primera carga durante 20 días de digestión anaeróbica dentro del biodigestor automatizado. En el periodo señalado se registraron por 24/7 los datos de temperatura (°C), presión diferencial (kPa), humedad (%) y concentración de gas metano (ppm).

Los resultados obtenidos de una segunda carga no son presentados en este trabajo.

De la primera carga se registraron en total 42161 datos. Lo anterior representa que en promedio cada 40 s se tomaba lectura por el sistema de monitoreo. De manera simultánea las 4 variables se registraban en cada lectura. Para todos los gráficos, el número de dato corresponde a la lectura registrada por el sistema de monitoreo. Una relación de datos entre las variables no fue realizada en este estudio.

En la Figura 36 se presentan los resultados de numero de dato vs concentración de gas metano – biogás (ppm). En general, de los días 1 al 5, la concentración de biogás fue en aumento en un promedio de 200 a 800 ppm. Lo anterior significa que el proceso de biodigestión inicio efectivamente el proceso de producción de biogás. De los días 6 al 10, los datos se mantuvieron constantes entre 700 y 800 ppm, esto puede suponer que la acción microbiana mantenía aun una actividad de digestión anaeróbica. De los días 11 al 15, se mostró un descenso de la producción de biogás, pero aun manteniéndose en rangos de producción que se puede considerar que se mantiene una actividad de digestión anaeróbica. Finalmente, de los días 16 al 20, se produce un nuevo incremento de producción de biogás, esto puede significar que la degradación de la materia orgánica se realiza por zonas del biodigestor y que al paso del consumo del estiércol la acción microbiana encontró nuevas zonas de consumo dentro del biodigestor. Es de resaltar, que ningún sistema de agitación se habilito al sistema.

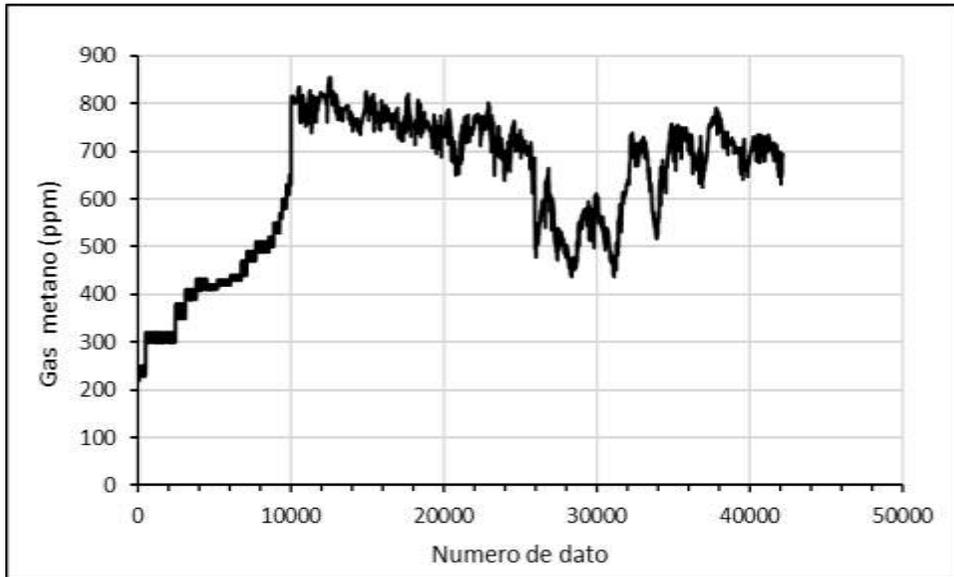


Figura 36. Numero de dato vs concentración de biogás.

En la Figura 37 se presentan los resultados de numero de dato vs porcentaje de humedad. De los días 1 al 5, la humedad se mantuvo entre 70 y 80%. Del día 6 al 15, la humedad en promedio se mantuvo del 60%, aunque en algunos días de operación la humedad descendía por debajo del 40%. Del día 16 al 20, el porcentaje de humedad descendía drásticamente a un promedio del 20%.

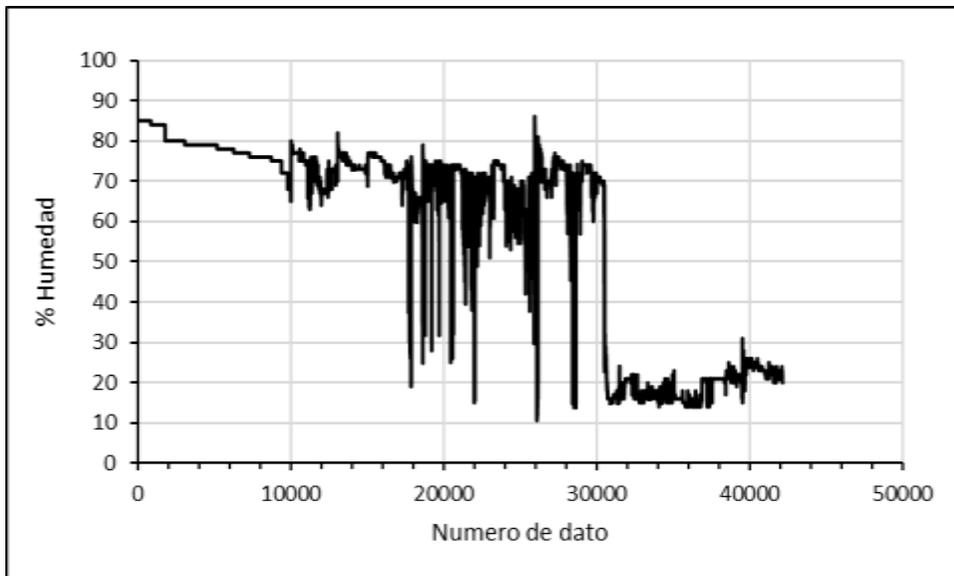


Figura 37. Numero de dato vs % humedad.

En la Figura 38 se muestra los resultados de numero de dato vs presión diferencial. Los datos más significantes se presentaban del día 6 al 20. Con datos máximos promedio de 70 kPa. Sin embargo, durante días de operación descendía por debajo de los 10 kPa. Lo anterior presumiblemente por ser los días nocturnos de registro donde las temperaturas bajas también provocaban presiones bajas.

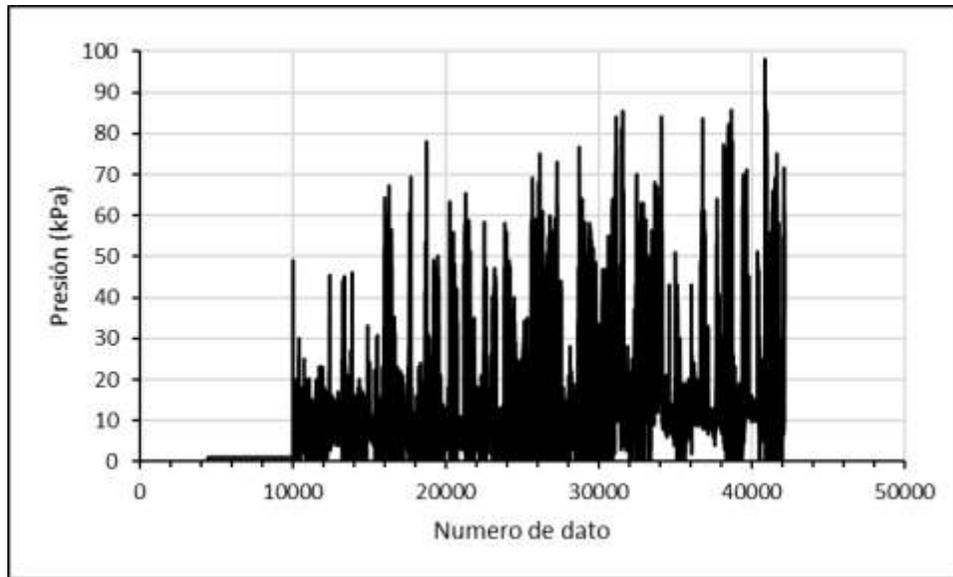


Figura 38. Numero de dato vs presión diferencial.

En la Figura 39 se muestra los resultados de numero de dato vs temperatura. En general del día 1 al 15 se mantuvo en promedio una temperatura de 55 °C, lo que, permite corroborar la producción de biogás durante estos días en función de la temperatura. De los días 16 al 20, las temperaturas descendieron por debajo de los 30 °C donde se podría considerar que la producción de biogás se detendría, sin embargo, la concentración de ppm de gas metano se mantuvo activo.

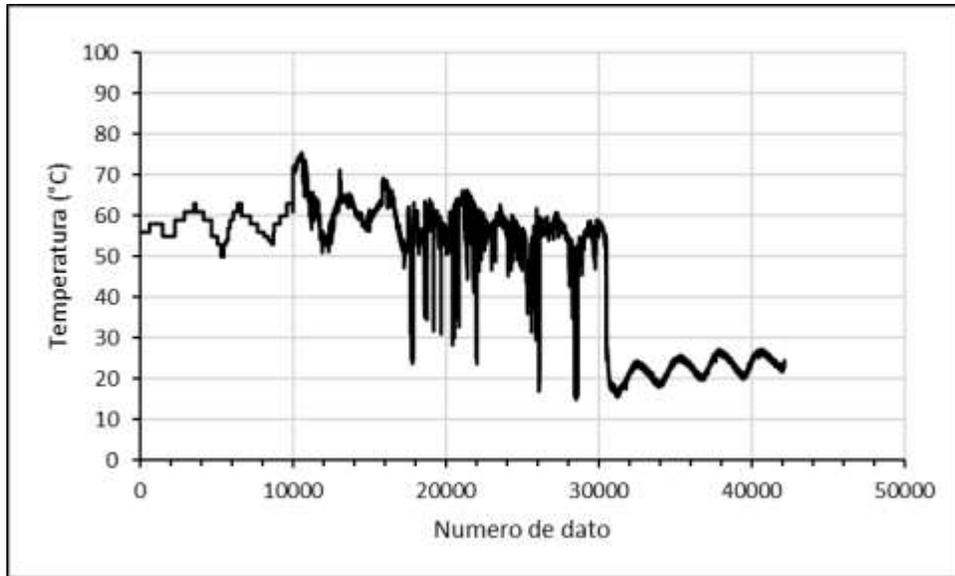


Figura 39. Numero de dato vs temperatura.

4.2 ESCALAMIENTO DE PROCESO DE NIVEL LABORATORIO A NIVEL PLANTA PILOTO

Con la herramienta de diseño mecánico SolidWorks se realizó una vista simple del sistema empleado. En la Figura 40 se presenta una vista isométrica del sistema. En la Figura 41 se muestra la propuesta de escalamiento de biodigestor con mayores dimensiones y en forma de globo. Este diseño es una propuesta de mayor capacidad, resistente al ambiente, se considera que emplearía menos cableado y estaría conectado a una fuente de energía por celdas para evitar caídas y pérdida de datos en el monitoreo, así como distribución de gas por tubería adecuada al ambiente sin fugas.

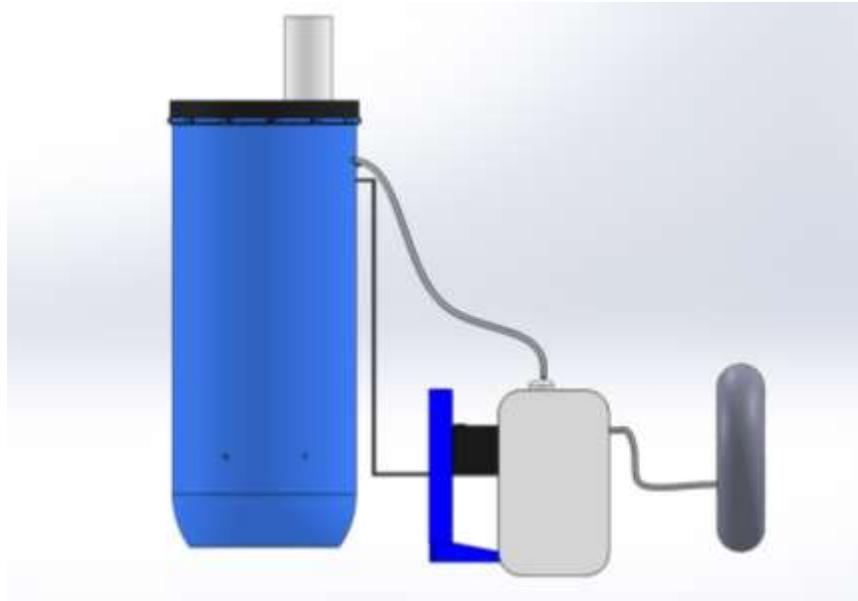


Figura 40. Vista isométrica en SolidWorks del biodigestor.

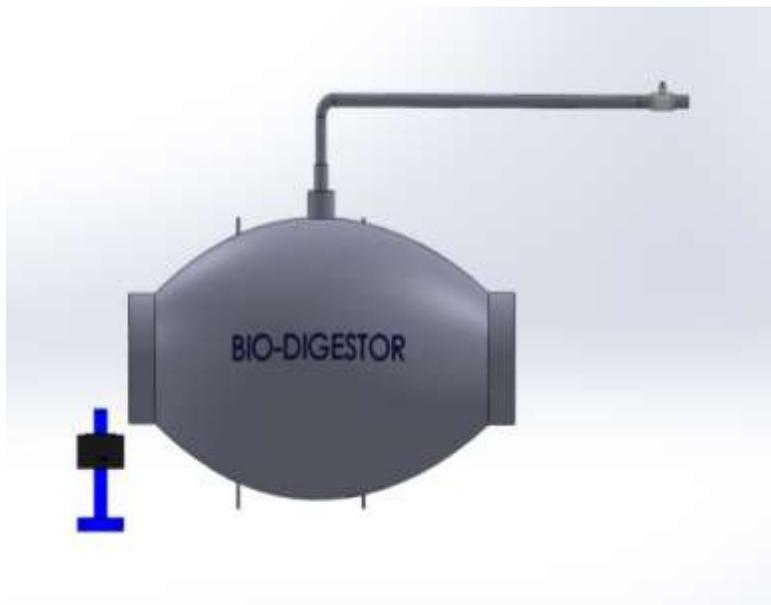


Figura 41. Propuesta de mejora del biodigestor.

4.3 ESTADÍSTICA BÁSICA

Enseguida se presentan los resultados obtenidos empleando herramientas estadísticas.

Estadística descriptiva: PPM, HUM, PRES, TEMP

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mediana	Rango	Modo	N para moda
PPM	632.05	150.66	22699.35	696.00	635.00	756	336
HUM	57.998	25.142	632.116	71.000	75.000	74	2919
PRES	11.635	12.791	163.609	8.000	96.000	1	5825
TEMP	48.186	16.694	278.673	56.000	60.500	58	2238

4.4 MINITAB

Enseguida se presentan los resultados obtenidos empleando el software MINITAB, ver Figuras 42 y 43. De las Figuras 44 a la 47 se muestran histogramas de cada variable.

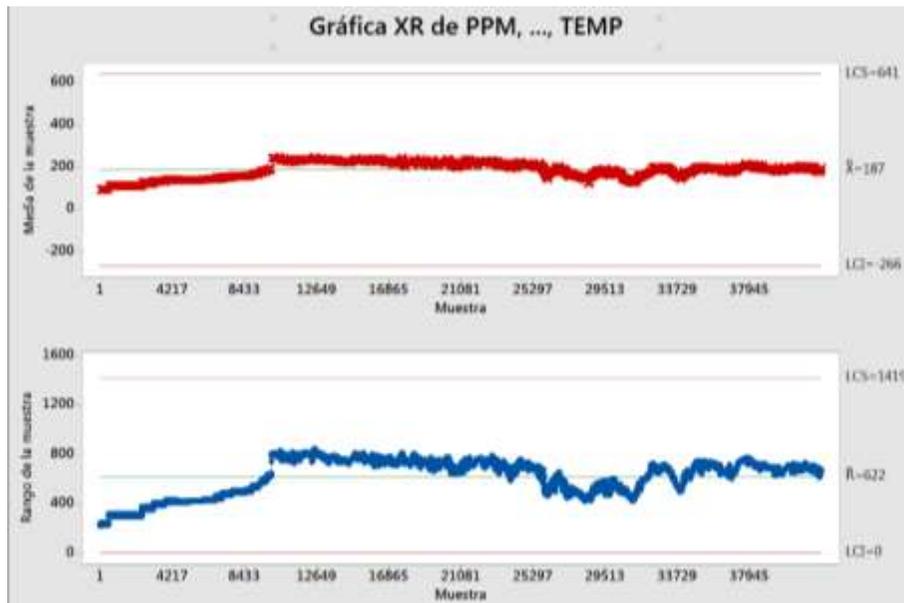


Figura 42. Gráfica de XR de PPM.

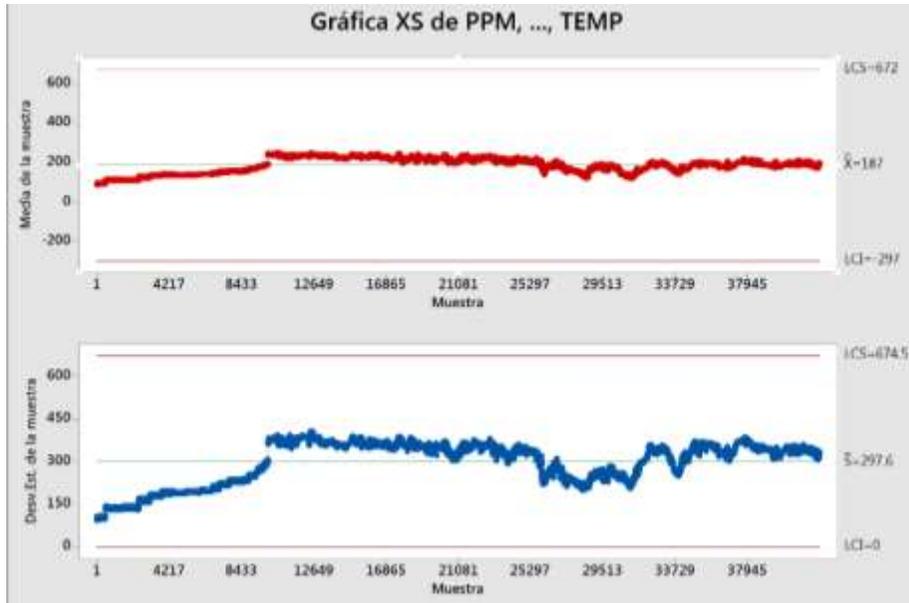


Figura 43. Gráfica de XS de PPM.

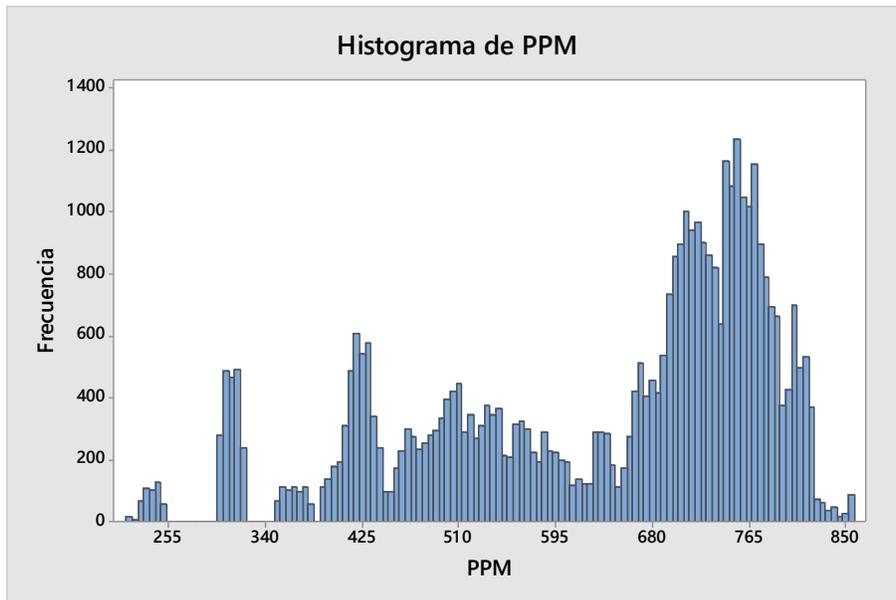


Figura 44. Histograma de PPM.

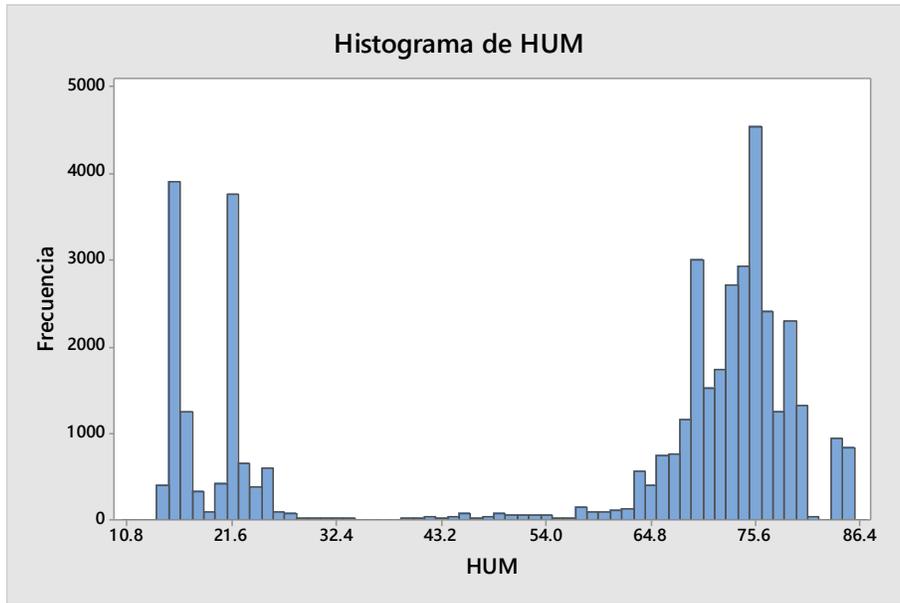


Figura 45. Histograma de HUM.

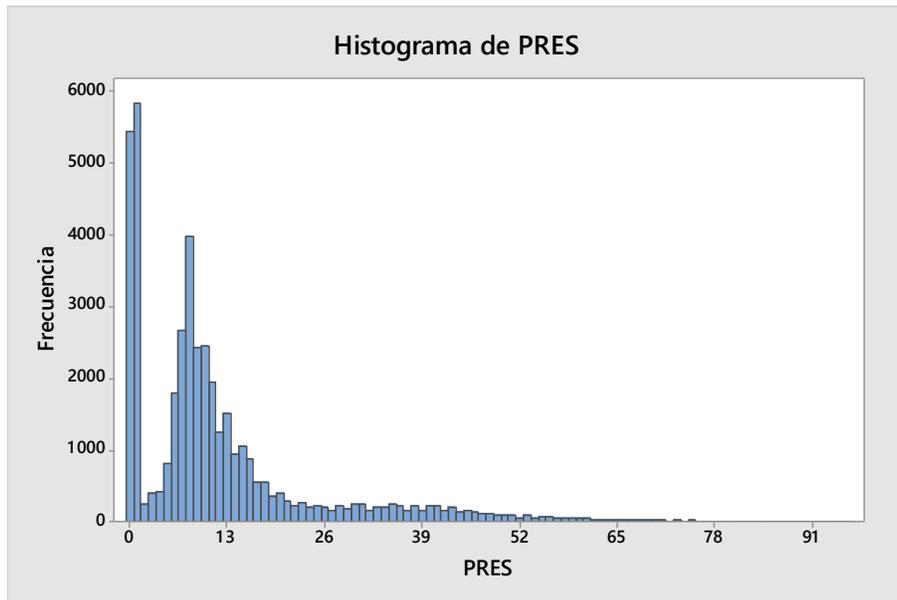


Figura 46. Histograma de PRES.

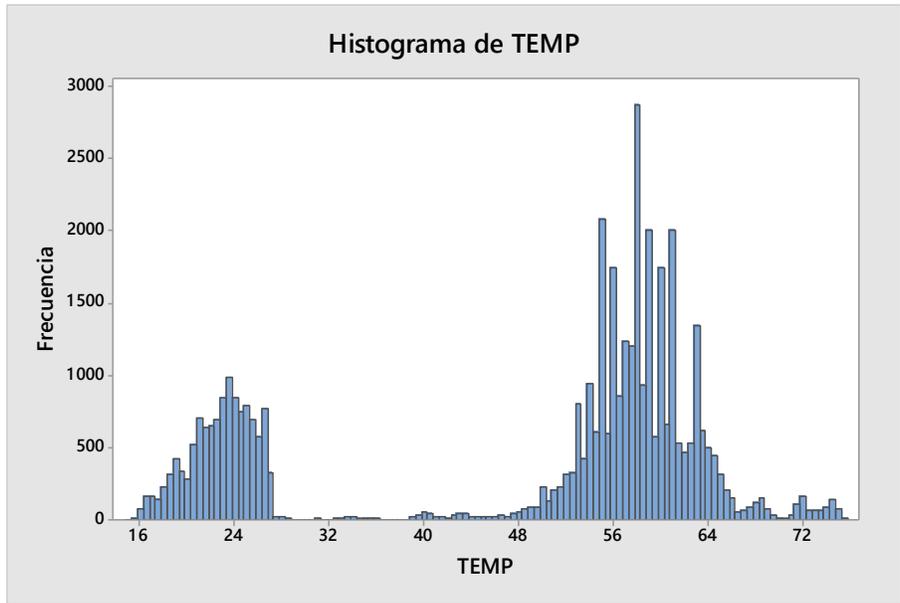


Figura 47. Histograma de TEMP.

4.5 PERT/CPM

Enseguida se muestran los resultados empleando esta técnica. De la Figura 48 a la 50 se muestran los resultados.

Project Management Results						
	Activity time	Early Start	Early Finish	Late Start	Late Finish	Slack
Project	61					
A	5	0	5	0	5	0
B	2	0	2	3	5	3
C	15	5	20	5	20	0
D	10	20	30	20	30	0
E	15	30	45	30	45	0
F	5	45	50	45	50	0
G	2	50	52	50	52	0
H	2	52	54	52	54	0
I	5	54	59	54	59	0
J	2	59	61	59	61	0

Figura 48. Desarrollo de actividades por tiempo.

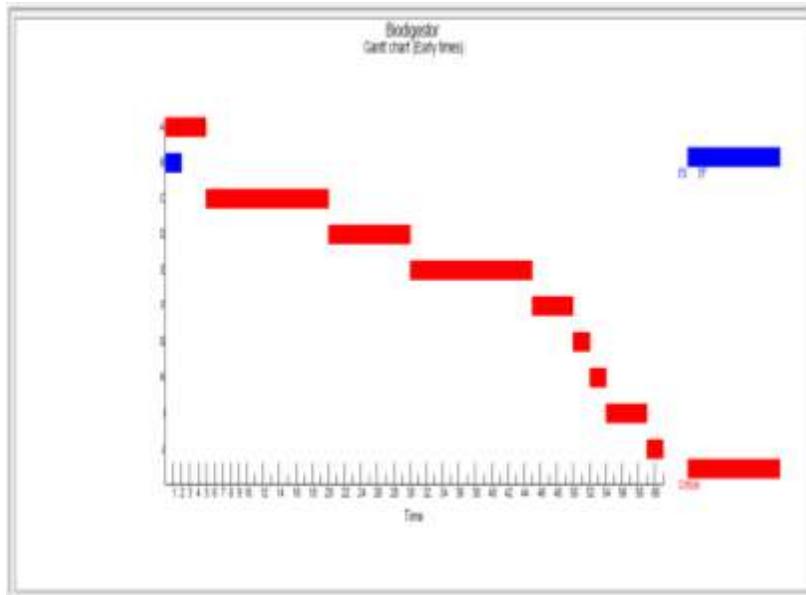


Figura 49. Diagrama Gant.

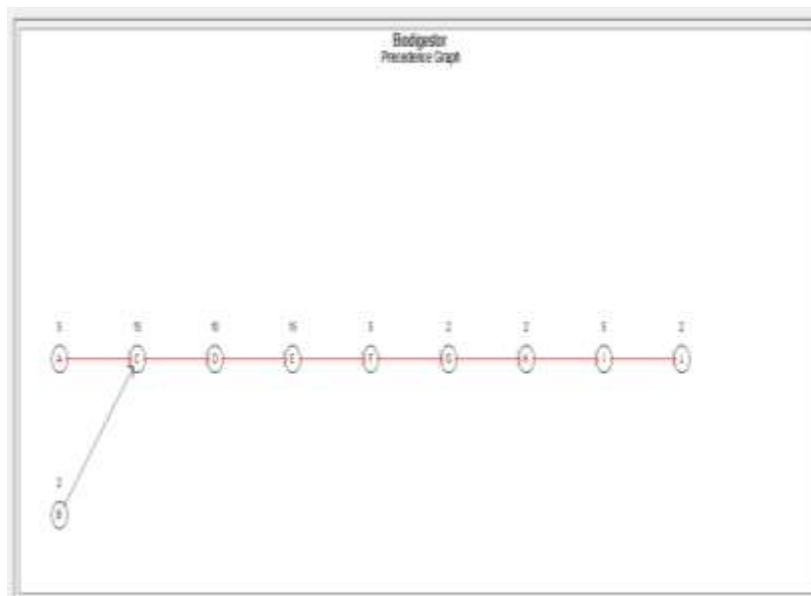


Figura 50. Diagrama de la ruta crítica.

V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados.

Se logró obtener una base de datos experimental de más de 40,000 datos para cada variable de estudio (porcentaje de humedad, concentración de gas metano, temperatura y presión diferencial). El equipo logro funcionar en modalidad 24/7 durante los 20 días de operación y en donde se propone que se logró controlar el proceso de tal manera que se obtuvo una base de datos robusta.

Se logró aplicar un análisis estadístico por diferentes metodologías que permiten validar que los resultados obtenidos son coherentes entre sí.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial en proyectos de investigación de ciencia aplicada que simulan situaciones reales dentro de los sectores económicos.

Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, diseño de procesos, investigación de operaciones, experimentación, análisis estadístico, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez.

En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz.

Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de ciencia aplicada, investigación e innovación tecnológica fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Aplique metodologías de la Ingeniería Industrial con base en las necesidades del proyecto de investigación de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos e información para diseñar y construir la metodología de operación requerida.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de ciencia, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería Industrial, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de investigación.
7. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
8. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
10. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Industrial de la institución.
11. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- (1) Acciona. (2020). Energías Renovables. Recuperado de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>
- (2) Sinelec. (2018). Energías renovables. Recuperado de <https://gruposinelec.com/energias-renovables-tipos-y-caracteristicas/>
- (3) Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). Guía Metodológica: Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales, San José, C.R.:IICA
- (4) Acciona. (2020). *Energías Renovables*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>.
- (5) Antonio, G. C. (2017). *Diseño y construcción de plantas biogas sencillas*. Cuba: Cubasolar.
- (6) Ayuntamiento, V. n. (26 de Junio de 2019). *Gas natural*. Obtenido de <http://www.villanuevadelascruces.es/es/ayuntamiento/sala-de-prensa/noticia-en-detalle/Ventajas-y-desventajas-del-gas-natural-00001/>.
- (7) Debate, E. a. (31 de 12 de 2011). *Biodigestores: aprovecha residuos para generar energía*. Obtenido de <https://www.energiaadebate.com/biodigestores-aprovechar-residuos-para-generar-energia/>.
- (8) Energía, A. A. (2019). *Estudio básico del biogas*. Europea. Obtenido de https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/estudio_basico_del_biogas_0.pdf.
- (9) Walter, G. (2006). Diseño de la automatización de una plante generadora de biogas. *Revista Colombiana de tecnologías avanzadas*.
- (10) Trendsinycom. (17 de Abril de 2019). *Beneficios de automatizar los preocesos*. Obtenido de <https://trends.inycom.es/automatizacion-de-procesos-que-es-y-por-que-deberias-pensar-en-hacerlo/>
- (11) Sensores de presión. (2019). Tipos de sensores para medir el tiempo. Recuperado de <https://www.sensoresdepresion.top/2020/02/tipos-de-sensores-para-medir-tiempo.html>

- (12) Estadística, T. (2018). *Modelos estadísticos*. Obtenido de <https://todoestadistica.com/modelos-estadisticos/>
- (13) Bernat, S. (2014). *EEstadística Básica* . Obtenido de <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/mediana/>
- (14) Soporte, M. (2019). *Minitab* . Obtenido de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/getting-started/introduction/>
- (15) Andrea, B. (15 de Junio de 2018). *Metodo Pert* . Obtenido de <https://es.slideshare.net/AndreaBello5/metodo-pert-cpm-74117737>

ANEXO 1

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Dirección

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Pabellón de Arteaga, Ags.,
No. de Oficio:
Asunto:

14/agosto/2020
D. 029/2020
Carta aceptación
residencia
profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el C. LUIS ENRIQUE GARCÍA MARMOLEJO, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 161050456, ha sido aceptado para realizar en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado "Optimización de un proceso simple de producción de biogás generado en un biodigestor de bajo volumen" durante el periodo de agosto-diciembre 2020, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Oscar Martín Nájera Solís (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excellencia en Educación Tecnológica
"Tierra Siempre Fértil"

HUMBERTO AMBRIZ DELGADILLO
DIRECTOR



C.p. Edgar Zacarías Moreno. - Subdirector Académico. I. T. Pabellón de Arteaga.
Archivo.
HAD/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. 01 (465) 9582730 y 9582482 ext. 100 e-mail: dir_parteaga@tecnm.mx
www.tecnm.mx | https://pabellon.tecnm.mx



ANEXO 2

Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
Dirección

"2020, Año de Lectura Vicaria, Benemérita Madre de la Patria"

Pabellón de Arteaga, Ags.,
No. de Oficio:
Asunto:

11/diciembre/2020
D 050/2020
Carta conclusión
residencias
profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN

PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el C. LUIS ENRIQUE GARCÍA MARMOLEJO, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, con número de control 161050456, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su proyecto de Residencia Profesional denominado "Monitoreo de un proceso simple de producción de biogás empleando residuos de ganado vacuno dentro de un biodigestor de bajo volumen" durante el periodo de agosto-diciembre 2020, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los docentes Oscar Martín Nájera Solís (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica.
"Tierra Siempre Fértil"

HUMBERTO AMBRÍZ DELGADILLO
DIRECTOR



C.p. Edgar Zacarías Moreno. - Subdirector Académico. I.T. Pabellón de Arteaga.
Archivo.
HAD/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km 1, C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes
Tel. 01 (465) 9582730 y 9582402 ext. 100 e-mail: dir_parteaga@tecnm.mx
www.tecnm.mx | hitos@pabellon.tecnm.mx

