

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA ANAEROBIO DISCONTINUO PARA EL
MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS TIPO VEGETAL

AUTOR: FERNANDO MORALES LÓPEZ

UNIVERSIDAD SANTO TÓMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ
2014

PLANTEAMIENTO DE UN SISTEMA ANAEROBIO DISCONTINUO PARA EL
MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS TIPO VEGETAL

AUTOR: FERNANDO MORALES LÓPEZ

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

MODALIDAD: SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA DE INGENIERÍA

DIRECTORA: MASTER JOHANNA KARINA SOLANO MEZA
CO-DIRECTORA: DRA. MONICA ANDREA BOTERO LONDOÑO

UNIVERSIDAD SANTO TÓMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BOGOTÁ

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi proyecto de grado.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas que me han brindado su ayuda, sus conocimientos y su apoyo. Quiero agradecerles a todos ellos cuanto han hecho por mí, para que este trabajo saliera adelante de la mejor manera posible.

Quedo especialmente agradecido con mis dos directoras de tesis. A la ingeniera Máster Johanna Karina Solano Meza que me ha ayudado y apoyado en todo momento durante el transcurso de este proyecto. Ha corregido minuciosamente este trabajo y me dado la posibilidad de mejorarlo. Tengo que agradecerle sus comentarios, direcciones, sugerencias y las correcciones con las que he podido elaborar una adecuada memoria de todo el trabajo realizado durante estos 5 meses. A la Dra. Mónica Andrea Botero Londoño, le agradezco las lecturas y comentarios, tanto científicos como literarios, comentarios durante el desarrollo de la tesis, sus correcciones y su infinita paciencia. Además, su compañía incondicional y su amistad. Sin la ayuda de ellas no habría podido obtener mi título como ingeniero ambiental.

EL Dr. Gerardo Gordillo Guzmán, con su gran calidad científica y humana, me acogió en el grupo *de materiales semiconductores & energía solar* (universidad Nacional de Colombia), le agradezco sinceramente el tiempo brindado y todo el apoyo.

CONTENIDO

CAPITULO 1 OBJETIVOS	1
OBJETIVO GENERAL.....	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
CAPITULO 2 MARCO REFERENCIAL	2
2.1. BIOMASA.....	2
2.1.1. TIPOS DE BIOMASA.....	2
2.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y SU CLASIFICACIÓN	2
2.2.1. RESIDUOS SÓLIDOS.....	2
2.2.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y SU CLASIFICACIÓN	3
2.3. PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	3
2.3.1. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	3
2.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	4
2.3.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	4
2.3.4. PROPIEDADES DE BIODEGRADACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	4
2.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	5
2.4.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL MUNDIAL	5
2.4.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL NACIONAL	5
2.4.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL LOCAL, BOGOTÁ.....	5
2.5. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR MALA DISPOSICIÓN FINAL	6
2.6. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	7
2.7. REACCIONES BIOLÓGICAS (DIGESTIÓN ANAERÓBICA).....	8
2.8. BACTERIAS PRESENTES EN LA HIDRÓLISIS Y ACIDO GÉNESIS.....	9
2.8.1. HIDRÓLISIS	9
2.8.2. FASE ACETOGENICA.....	11
2.9. BIOGÁS.....	11
2.10. PARÁMETROS EN PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	11
2.10.1. pH.....	11
2.10.2. POTENCIAL ÓXIDO REDUCCIÓN (REDOX)	12
2.10.3. NUTRIENTES.....	12
2.10.4. TEMPERATURA	12
2.10.5. TOXICIDAD E INHIBICIÓN.....	12
2.10.6. AGITACIÓN / MEZCLADO (Homogenización).....	12
2.11. OTROS PARÁMETROS.....	13
2.12. ASPECTOS AMBIENTALES.....	13
2.13. AUTOMATIZACIÓN	13
2.13.1. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN	14
2.14. LOS SISTEMAS DE CONTROL	15
2.14.1. CONTROL EN LAZO ABIERTO	15

2.14.2. CONTROL EN LAZO CERRADO.....	15
2.15. SOFTWARE CONTROLADOR.....	16
2.15.1. PROGRAMACIÓN CON LABVIEW.....	16
2.15.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.....	16
2.15.3. PRINCIPALES USOS	17
2.16. EQUIPO DE CONTROL DE SEÑAL (DAQ-6008)	17
2.17. MARCO NORMATIVO.....	19
2.17.1. LEYES, DECRETOS Y RESOLUCIONES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS	19
2.17.2. NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	20
CAPITULO 3 DESARROLLO CENTRAL	21
3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO DEL PROYECTO DE GRADO.....	21
3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	22
3.1.1.1. ESTADÍSTICA DE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.....	23
3.1.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS.....	24
3.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS HECES CANINAS	25
3.1.3.1. ALIMENTACIÓN DEL CAN	25
3.1.3.2. CARACTERIZACIÓN DE HECES CANINAS.....	26
3.1.4. ANTECEDENTE DE USO DE FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y HECES CANINAS EN REACTORES	26
3.1.4.1. ANTECEDENTE DE USO DE FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN REACTORES	26
3.1.4.2. ANTECEDENTE DE USO DE HECES CANINAS EN REACTORES.....	27
3.1.5. SUSTRATO UTILIZADO	27
CAPITULO 4 CARACTERISTICAS DE DISEÑO	29
4.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
4.2. CRITERIOS TÉCNICOS	29
4.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE TRABAJO	29
4.2.2. TIPO DE PROCESO	30
4.2.3. VOLUMEN DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	30
4.2.4. CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE FORMA TEÓRICA.....	30
4.3. CÁLCULO DE LA FORMULA QUÍMICA DE LA BIOMASA	31
4.3.1. VOLUMEN DEL GAS TEÓRICO EMITIDO POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICA.....	32
4.3.2. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA.....	34
4.4. CRITERIOS ECONÓMICOS	36
4.4.1. COSTOS DE LA INVERSIÓN	36
4.4.2. COSTOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y PERIODO DE VIDA ÚTIL	37
4.5. CRITERIOS SOCIALES	38
4.5.1. EL CONTROL EN LA FUENTE	38
CAPITULO 5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DEL BIODIGESTOR.....	39

5.1. DESCRIPCIÓN DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO	39
5.1.1. DESCRIPCIÓN DEL REACTOR.....	40
5.1.2. DESCRIPCIÓN DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	42
5.1.3. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO POTENCIA DEL MOTOR.....	43
5.1.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ASPAS.....	44
5.1.5. DESCRIPCIÓN DE TOLVAS.....	45
5.1.6. DESCRIPCIÓN DE LA TUBERÍA.....	46
5.1.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCION DEL BIOREACTOR.....	47
5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE BIOGÁS	48
5.3. ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	48
5.5. IDENTIFICACION DE PARÁMETROS A SER CONTROLADOS.....	49
5.5.1. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS A SER CONTROLADOS.....	49
5.6. PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	50
5.6.1. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL (PI) DEL PROCESO	50
5.6.2. CONTROL Y MEDICIÓN DE PÁRAMETROS.....	51
5.6.3. CONTROL DE LOS PARÁMETROS MEDIANTE EL PROGRAMA DE DISEÑO LABVIEW.....	52
5.7. PROGRAMACIÓN, INTEGRACIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	53
CAPITULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
6.1. RESULTADOS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA Y DE LAS HECES CANINAS	55
6.2. RESULTADOS DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA	55
6.3. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	56
CAPITULO 7 CONCLUSIONES	57
CAPITULO 8 RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA.....	59

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Mapa conceptual de las etapas de degradación de la biomasa y generación de metano [10].	9
Diagrama 2. Diagrama general de control.	14
Diagrama 3. Partes del biodigestor.	40
Diagrama 4. Purificación del biogás.	48

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Formación de los monómeros en la hidrólisis [11].	10
Ilustración 2. Degradación ácido génica (del piruvato)[11].	10
Ilustración 3. Degradación acetogénica[11].	11
Ilustración 4 Biodigestor anaerobio completo.	39
Ilustración 5 Curva Nro de Reynolds vs Nro de potencias.	43
Ilustración 6 reactor del ensayo	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de impactos generados por mala disposición final.	7
Tabla 2. Estadística de los RSO.	24
Tabla 3. Porcentajes de la materia orgánica.	24
Tabla 4. Resultados obtenidos de la caracterización de rso y las heces caninas.	28
Tabla 5. Criterios para el diseño del proceso.	29
Tabla 6. Fórmulas químicas empíricas de la biomasa.	31
Tabla 7. Cálculo de moles en la composición química de los rso *referencia del documento “bioreaction engineering” [21].	32
Tabla 8. Variables a remplazar en la ecuación.	33
Tabla 9. Costos de inversión.	34
Tabla 10. Criterios de la selección de los parámetros.	49
Tabla 11. Parámetros de control de la señal de salida al DAQ	

6008.....	51
Tabla 12. Relacion poder calorifico vs costo.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de bloque control en lazo abierto.	15
Figura 2 Diagrama de bloque control en lazo cerrado	15
Figura 3 DAQ USB- 6008	18
Figura 4 Diagrama de bloque de DAQ 6008.....	18

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Panel frontal.....	52
Imagen 2. Diagrama de bloque.....	53
Imagen 3. Diagrama de Bloque Control Temperatura	53
Imagen 4. Diagrama de Bloque Control pH	54
Imagen 5. Panel frontal de control	54

LISTA DE FOTOS

Foto 1. tolva capacidad 850cm ³	46
Foto 2. Sistema de calefaccion del reactor	47
Foto 3. RSO Mezclados.....	75
Foto 4. Bioreactor de ensayo	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS	63
Anexo 2 DIAGRAMA EN LABVIEW DE AUTOMATIZACIÓN DE SENSORES	77
Anexo 3 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL BIODIGESTOR	81
Anexo 4 PLANO E ILUSTRACIONES DELBIOREACTOR ANAEROBIO DISCONTINUO.....	85

RESUMEN

En este documento se presentan los resultados obtenidos durante una investigación centrada en el proceso de digestión anaerobia. Se determinó un método para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos desde su fuente de generación, así como, la posibilidad de emplear las heces caninas como inoculador de las cepas microbianas, a partir de esta información se determinó que la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos sería el sustrato para la producción de biogás, a escala laboratorio, en un reactor anaerobio discontinuo. Para este trabajo se determinó la composición biológica y física de cada uno de los residuos sólidos orgánicos (RSO) utilizados según lo establecido en el Reglamento Técnico del Sector De Agua Potable Saneamiento Básico Ras 2000 sección II título F, establecidos en la tabla F 1.3. Al igual que para las heces caninas ya que pueden considerados como un residuo sólido orgánico, también se determinó la relación C/N mediante un balance fisicoquímico de manera teórica dentro del cual se observó la propiedad de biodegradabilidad de estos residuos sólidos orgánicos tipo vegetal caracterizados.

Se realizó una prueba microbiológica para la determinación de las familias microbianas que tienen las heces caninas, mediante un examen coprológico por parte de la Universidad de la Salle; Con los resultados obtenidos de la caracterización de la biomasa se estimó la capacidad de carga del biodigestor para obtener las condiciones más favorables de generación de biogás, y potencial energético; de igual forma se determinaron las condiciones para el favorecimiento del crecimiento microbiano aportado por las heces caninas. A partir de estos resultados se plantearon los criterios para el planteamiento del sistema el cual está compuesto de un biodigestor anaerobio discontinuo, 2 tolvas (sustancias buffer en el control del pH) y un sistema de control, el cual es parte importante y fundamental en el desarrollo de este trabajo, para mantener las condiciones de temperatura, presión y potencial oxido reducción dentro del sistema, y finalmente se instaló un dispositivo para la agitación de la biomasa.

Es así como en este documento se presenta adicional al sistema planteado para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos urbanos basado en un digestor anaerobio, un sistema de operación y control de las variables mediante la herramienta de diseño electrónico LabVIEW el cual está compuesto por un equipo (NIUSB-6008) encargado de recibir la señales de los transductores (entradas/salidas de la información), el cual establece el mecanismo correctivo para el control de pH y del potencial redox. Para el control en tiempo real de la temperatura se contó con un equipo NIFIELPONT modelo 1000 que recibe la señal de la Termocupla tipo J instalado dentro del biodigestor, dentro de él se encuentra una resistencia que adapta la temperatura interna del reactor. Por motivos económicos se realizó el montaje hasta la calibración del mismo en las instalaciones de la Universidad Nacional y el ensayo de biomasa fue realizado en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomás. También es de

resaltar que este trabajo hace parte de una investigación encaminada al desarrollo de una patente por parte de la Universidad Nacional por tanto se presenta en este documento lo correspondiente al montaje del bioreactor, el sistema de control mediante la herramienta de diseño LabVIEW y la descripción del sistema.

INTRODUCCIÓN

Actualmente las investigaciones centradas en los procesos de digestión anaerobia se han encaminado hacia el aprovechamiento de residuos sólidos agroindustriales y son pocas las alternativas presentadas para las fracciones orgánicas de residuos sólidos urbanos que puedan ser aprovechados directamente en la fuente de generación. Es por esto que se presenta en este trabajo una propuesta para el aprovechamiento de los residuos anteriormente mencionados que cuenta con un sistema de control electrónico de variables independientes, en este caso, pH, el potencial de óxido reducción (ORP), la temperatura y la homogenización de la biomasa.

Dentro de esta investigación se analizó el comportamiento de las variables para la producción de biogás de forma teórica para el planteamiento del diseño y se analizaron las diferentes metodologías propuestas para el control electrónico empleado en el sistema de digestión anaerobia. Estos controles permiten corregir errores cuando son identificados en el sistema, utilizando en este caso el software Labview para su detección. Este tipo de control electrónico propuesto no se ha estudiado ampliamente para ser usado en biodigestores anaerobios discontinuos, los cuales pueden generar productos aprovechables debido a la degradación de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y que además cuenten dentro de su configuración con controles simples para mantener las variables de forma favorable para el desarrollo del proceso de biodigestión. Adicionalmente este tipo de sistema es práctico para su implementación en un hogar tradicional, minimiza costos de manejo y disposición de los residuos sólidos orgánicos y es ambientalmente sostenible.

Para las pruebas presentadas en este trabajo se utilizó biomasa obtenida a partir de Residuos sólidos orgánicos generados en un hogar compuesto por 5 personas en donde se generaron 1.1047 Kg/día de RSO, de los cuales 642 g/día fueron tomados, para el desarrollo de esta investigación se toma como sustrato del medio de cultivo los residuos sólidos orgánicos tipo vegetal, se caracterizaron en el laboratorio de microbiología de la Universidad Santo Tomás. Las heces caninas se obtuvieron de un can de raza chow chow de 5 años de edad obteniendo alrededor de 183,5 gr/día para el cual se realizó su respectiva caracterización mediante pruebas microbianas realizadas por la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la Salle Colombia que determina la viabilidad de usarlas para inocular los microorganismos metanogénicos en el reactor.

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico los derechos de propiedad intelectual en conformidad con las leyes, decretos y reglamentos actuales en la legislación Colombiana dando mención a continuación de las compañías y programas utilizados:

Compañía: MathWorks®.

Programa utilizado: MATLAB®.

Aplicación utilizada: SISOTOOL®.

Compañía: NATIONAL INSTRUMENTS®.

Programas Utilizados:

1. labVIEW 2013®.
2. MEASUREMENT SUITE®.

Compañía: MICROSOFT®

Programas utilizados: Paquete de office 2013®.

Extensiones: Microsoft Word 2013®.

Extensiones: Microsoft PowerPoint 2013®.

Extensiones: Microsoft Excel 2013®.

CAPITULO 1 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Plantear un sistema anaerobio discontinuo para el manejo de los residuos orgánicos tipo vegetal

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las propiedades físicas de los residuos orgánicos de tipo vegetal seleccionados.
- Identificar el potencial energético de la biomasa obtenida de la caracterización de los residuos sólidos orgánicos tipo vegetal.
- Proponer un sistema de digestión anaerobia para el aprovechamiento de residuos sólidos vegetales a escala piloto.
- Proponer un sistema de control electrónico del proceso de digestión anaerobia mediante la herramienta de diseño LabVIEW.

CAPITULO 2 MARCO REFERENCIAL

2.1. BIOMASA

La biomasa es toda materia orgánica no fósil, en la que la radiación solar directa ha reducido el hidrógeno y el carbono mediante el proceso básico de la fotosíntesis, permitiendo así que pueda tener un aprovechamiento de tipo químico-industrial y energético [1].

2.1.1. TIPOS DE BIOMASA

2.1.1.1. BIOMASA NATURAL

La biomasa natural es la que se produce en ecosistemas naturales sin la intervención del hombre [1].

2.1.1.2. BIOMASA RESIDUAL

Es la biomasa generada en las actividades de producción, transformación y consumo, que en el contexto en el que son generados no tienen ningún valor económico pero si una afectación al directa en el medio ambiente porque son potencialmente contaminantes [1,2] se pueden clasificar en:

- Residuos agrícolas y forestales.
- Residuos ganaderos y agroindustriales.
- Residuos sólidos urbanos.

2.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y SU CLASIFICACIÓN

2.2.1. RESIDUOS SOLIDOS

Es el producto resultado de cualquier actividad realizada por el hombre como el consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, e institucionales [3], se pueden clasificar de varias formas, tanto por estado, origen o por el tipo de manejo que se les debe dar para el tratamiento.

2.2.2. LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS Y SU CLASIFICACIÓN

Son el producto obtenido de la degradación, transformación de la materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel [3,4], se pueden clasificar por su origen o sus características físicas.

Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles: Son los residuos encontrados en las papeleras públicas; su contenido es muy variado, pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos [3].

Residuos sólidos orgánicos institucionales: Residuos provenientes de las instituciones públicas y privadas [3].

Residuos sólidos de mercados: Son los residuos provenientes de los mercados y plazas donde se venden productos alimenticios [3].

Residuos sólidos orgánicos de origen comercial: Son los residuos sólidos provenientes de las tiendas y centros comerciales [3].

Residuos sólidos orgánicos domiciliarios: Son los residuos que se generan en los hogares, cuya característica es que contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados [3].

2.3. PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

2.3.1. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Los residuos sólidos orgánicos cuentan en sus componentes orgánicos estructuras que permiten la transformación en gases a continuación se menciona su composición [4]:

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, *aminoácidos y diversos ácidos orgánicos*.
- *Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.*
- *Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.*
- *Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.*
- *Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.*
- *Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.*

- *Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.*

2.3.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Las propiedades físicas de los residuos sólidos orgánicos más destacan son las siguientes: humedad, peso específico y granulometría [4].

Humedad: la humedad oscila alrededor del 40% con respecto al peso, con un margen que puede situarse entre el 25 y el 60%. [4].

Peso específico: Se utiliza para optimizar la operación, ya que permite el diseño en relación al espacio [4].

Granulometría: El grado de segregación de los materiales y el tamaño físico de los componentes elementales de los residuos sólidos determina el espacio de almacenamiento [4].

2.3.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Las propiedades químicas de los residuos urbanos son los factores condicionantes para la determinación del proceso de recuperación y tratamiento final. [4].

Composición química: La variabilidad que experimenta la composición de los residuos sólidos orgánicos, determina la necesidad de ser caracterizados para determinar la composición [4].

Poder energético: Las propiedades calorimétricas de los residuos sólidos orgánicos son los parámetros para analizar el potencial energético [4].

2.3.4. PROPIEDADES DE BIODEGRADACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

La biodegradabilidad, es la capacidad de degradarse por la acción de agentes biológicos (insectos y/o microorganismos) dado por su composición química que posee carbohidratos simples (C-H-O) [4].

En la biodegradabilidad es importante tener en cuenta el contenido de lignina, el cuál determina la fracción biodegradable de los residuos [4].

La fracción biodegradable se puede determinar a partir de la siguiente fórmula:

$$BF = 0,83 - 0,028 LC [4]$$

Donde BF es la fracción biodegradable y LC es el contenido de lignina.

2.4. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

La sociedad moderna se centra en procesos y actividades industriales que generan volúmenes altos de RSO por producto de consumo y de actividad económica dando lugar a los problemas derivados de su inadecuada gestión. El ministerio del Medio Ambiente, determina en la Política para la Gestión de residuos, que este problema está relacionado también con falta de conciencia ciudadana sobre la relación entre los residuos, el ambiente, la economía familiar y nacional [5].

- *Ausencia de un marco de apoyo a la introducción de tecnologías limpias.*
- *Ausencia del establecimiento de responsabilidad de los sectores productivos en la generación, manejo y disposición de residuos postconsumo.*

2.4.1. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL MUNDIAL

La cantidad total de residuos municipales producidos en Europa es de 5.000 millones de toneladas de residuos anual y 7,3 toneladas por persona en los países de EECCA (Europa del Este, Cáucaso y Asia Central), considerados los mayores productores de residuos a nivel mundial [6].

2.4.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL NACIONAL

En el país, como manifiesta el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial [5]. Se establece 4 ciudades de mayor producción de residuos sólidos y son las siguientes [7]:

- *Cuatro grandes ciudades (Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla): 11.275 Ton/día, lo que equivale al (41%) de residuos generados, solo Bogotá genera 6500 ton/día.*
- *En las 28 ciudades capitales se generan 5.142 Ton/día (18.7%).*
- *En los 1054 municipios se generan 11.083 ton/ día (40.3%).*

2.4.3. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL LOCAL, BOGOTÁ

La ciudad de Bogotá tiene un polo de desarrollo industrial comercial, es una

metrópoli con una población aproximada de 7.776.845 millones de habitantes de los cuales el 16 por ciento de la población vive en condiciones de pobreza y un 3% vive en condiciones de pobreza extrema, según la proyección realizada por el censo del Dane 2013, este crecimiento poblacional es proporcional a la producción de residuos sólidos y por la tanto que se demande un estructura de servicios públicos más robusta, que recoja y transporte aproximadamente las 6.500 toneladas diarias [7].

2.5. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR MALA DISPOSICIÓN FINAL

La problemática ambiental relacionada directamente con el manejo de los residuos sólidos, afecta al hombre y a su entorno de diferentes maneras, especialmente en los sectores que a continuación se menciona [8]:

- *Salud Pública*
- *Destrucción de los recursos naturales renovables y no renovables.*
- *Factores sociales*
- *Factores económicos.*

En la tabla 1 se observan los impactos más significativos que tienen lugar por el mal manejo, y la disposición de los residuos urbanos de tipo orgánicos [8].

TABLA 1 TIPOS DE IMPACTOS GENERADOS POR MALA DISPOSICIÓN FINAL

TIPOS DE IMPACTOS GENERADOS POR LA DISPOSICIÓN INADECUADA DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	
TIPO	DESCRIPCIÓN
Impacto sobre el suelo	La inadecuada disposición de los residuos sólidos (domésticos, industriales, hospitalarios y peligrosos) en sitios a cielos abiertos o enterrados sin control de la contaminación al suelo.
Impacto sobre el aire	En los botaderos a cielo abierto es evidente la contaminación atmosférica, especialmente por la generación de olores ofensivos, gases y partículas en suspensión, producto de las quemaduras o arrastre de los vientos.

Impactos sobre las aguas subterráneas	Este tipo de contaminación se deriva de los lixiviados, producto de la descomposición de los residuos sólidos que segregan líquidos en su proceso de fermentación. Los lixiviados, al ser líquidos, tienen la capacidad de percolar a través del suelo contaminándolo, además de alcanzar las aguas subterráneas contaminándolas también con materia orgánica, con sustancias tóxicas como metales pesados (mercurio, plomo, cadmio), sustancias cancerígenas (benceno) o tóxicas como el tricloroetileno.
Impacto sobre cuerpos hídricos superficiales	Uno de los efectos ambientales más serios provocados por el manejo inadecuado de los residuos sólidos es la contaminación de las aguas superficiales por el vertimiento de estos en los ríos, quebradas y otros cuerpos de agua. Estos residuos, por una parte, pueden contener metales pesados que tienen una connotación muy especial en el ambiente y en la salud de las personas, y por otra, incrementan considerablemente la carga orgánica, disminuyen el oxígeno disuelto en el agua y aumentan los nutrientes (nitrógeno y fósforo) ocasionando un crecimiento descontrolado de algas.
Impactos sobre el paisaje	Este tipo de contaminación es básicamente de tipo estético y repercute en consecuencias económicas debido a la disminución del turismo y la desvalorización de los terrenos afectados. Se refiere también a la disminución de la calidad de vida del hombre en cuanto al disfrute del espacio y el horizonte.

Fuente: [8].

2.6. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Los residuos sólidos orgánicos que pueden ser reutilizados o transformados en otro producto, reincorporándose al ciclo económico y con valor comercial, contribuyendo a la conservación y reducción de la demanda de recursos naturales y se deben tener en cuenta lo siguiente para estar en esa categoría [9]:

1. *Que se trate de materia prima con valor comercial.*
2. *Su destino es el aprovechamiento ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros.*

3. *Que cumpla la definición establecida por la autoridad ambiental sobre el término de aprovechable.*
4. *La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que exista un mercado para el residuo.*
5. *Deben ser objeto del establecimiento de incentivos de toda índole, en especial económicos y tributarios.*

2.7. REACCIONES BIOLÓGICAS (DIGESTIÓN ANAERÓBICA)

La digestión anaeróbica es uno de los procesos más utilizados, para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, en el que la materia orgánica es transformada biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas, en metano y Dióxido de carbono. Además de esta corriente gaseosa, se produce también una suspensión acuosa de materiales sólidos (lodos), en los que se encuentran los componentes más difíciles de degradar, la mayor parte del nitrógeno y el fósforo y la totalidad de los elementos minerales (K, Ca, Mg, etc.) [10].

La fermentación anaerobia es un proceso complejo que se divide en 3 etapas de degradación:

- *Hidrólisis y acido génesis.*
- *Acetogénesis.*
- *Metanización.*

Esquemáticamente esto se observa en la Diagrama 1.

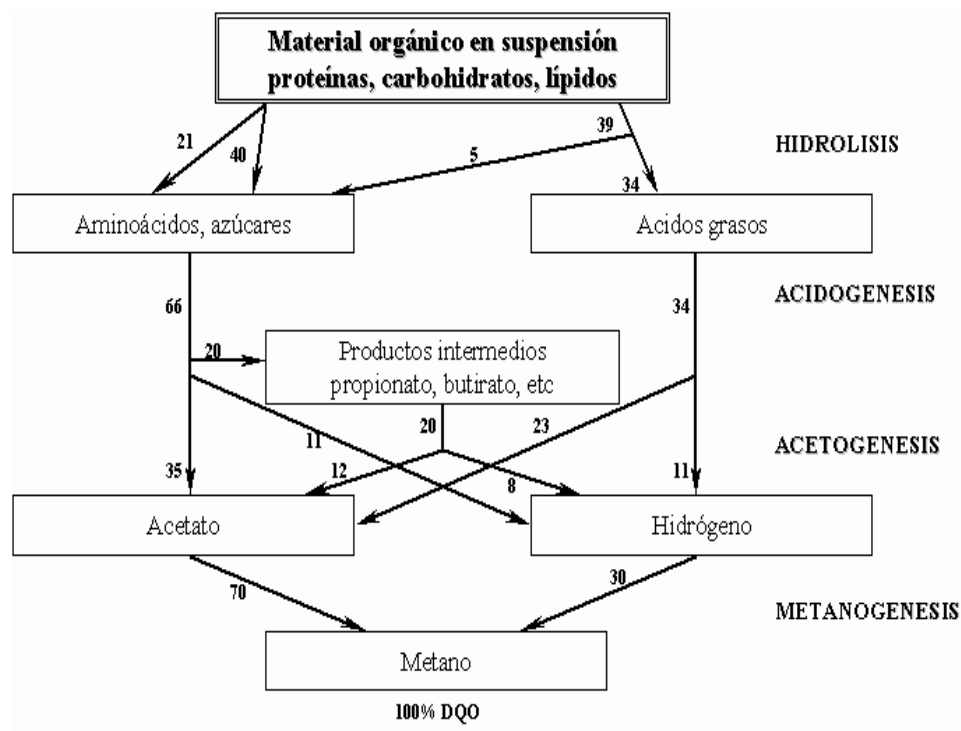


Diagrama 1. Mapa conceptual de las etapas de degradación de la biomasa y generación de metano [10].

2.8. BACTERIAS PRESENTES EN LA HIDRÓLISIS Y ACIDO GÉNESIS

En esta etapa encontramos bacterias anaerobias facultativas como las enteras bacterias, bacterias Aero tolerantes como las bacterias del ácido láctico y bacterias anaerobias estrictas como [11]:

- *Clostridium*.
- *Propionibacterium*.
- *Selenomona*.

2.8.1. HIDROLISIS

La etapa hidrolítica es la etapa limitante de la velocidad del proceso global dependiendo del pH, de la temperatura, de la concentración de biomasa hidrolítica, del tipo de materia orgánica y del tamaño de partícula, en la ilustración 1 se muestra la formación de monómeros en la hidrolisis.

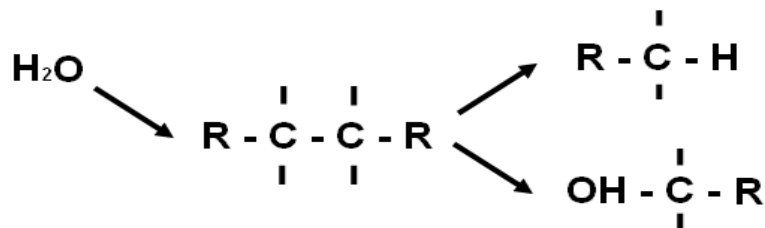


Ilustración 1. Formación de los monómeros en la hidrólisis [11].

La concentración intermedia de iones de hidrógeno afecta los productos de la fermentación, un ejemplo de degradación acidogénica (del Piruvato) se muestra en la ilustración 2 donde se observa la biodegradación orgánica que consta de la descomposición de la materia puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbica) o en su ausencia (anaeróbica) donde se genera el proceso de fermentación lactato que es en presencia de microorganismos y otras células.

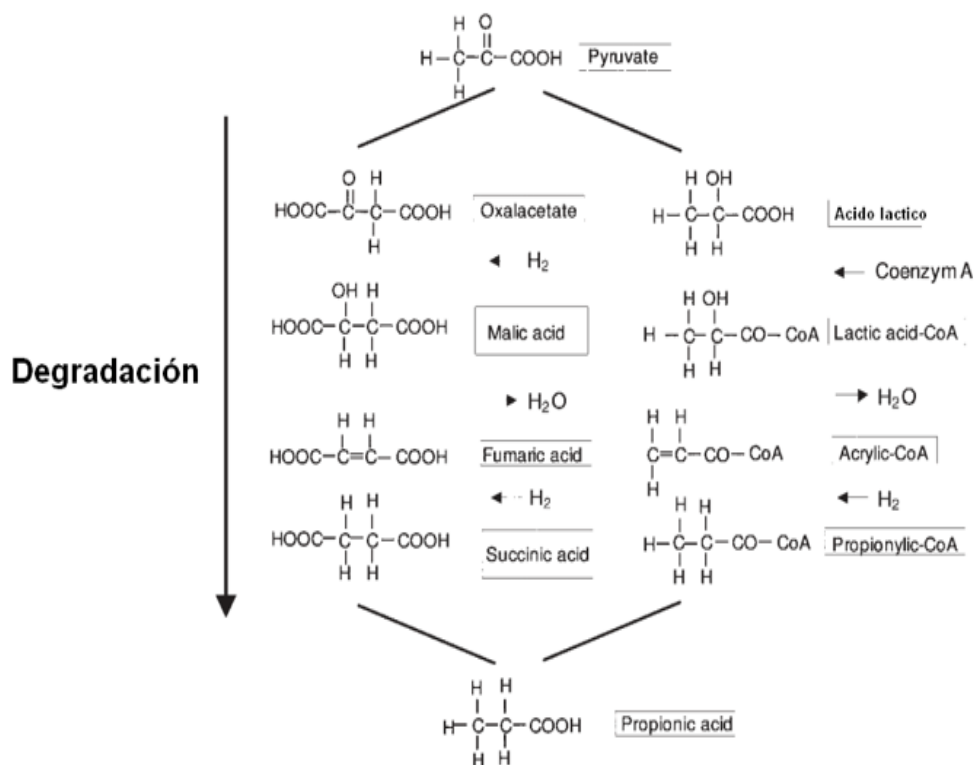


Ilustración 2. Degradación ácido génica (del piruvato)[11].

2.8.2. FASE ACETOGENICA

En la fase ácido génica sirven de sustrato para la formación de otras bacterias, las reacciones de esta etapa donde el incremento de energía libre es positivo. Bajo condiciones de temperatura y presión constantes (se necesita energía para la degradación de los productos de la acidogénesis).

Un esquema que muestra la degradación acetogénica y la simbiosis con los organismos metanogénico se muestra en la ilustración 3 [11].

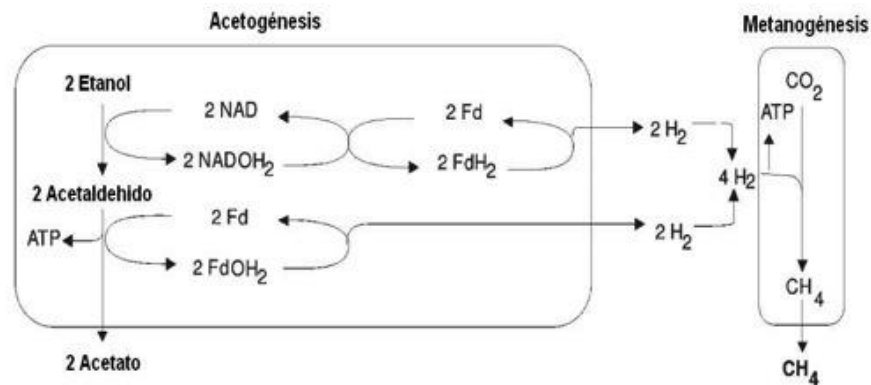


Ilustración 3. Degradación acetogénica[11].

2.9. BIOGÁS

El biogás, constituido básicamente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) [12], es un combustible que puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en la industria, debiéndose eliminar primero su contenido de CO₂.

2.10. PARÁMETROS EN PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Con todos los procesos biológicos involucrados, la constancia de las condiciones de vida es importante, un cambio en la temperatura, cambios en el sustrato o en la concentración de este puede llevar a una cancelación del mecanismo de producción de biogás [12].

2.10.1. pH

Durante todo el proceso anaerobio de transformación de la biomasa en energía se presentan varios tipos de pH dependiendo en qué fase de la digestión anaerobia

se encuentre, como por ejemplo: en el caso de la fase de hidrólisis/acidogénesis se debe trabajar en rango inferiores (5 - 5,5), mientras que en la fase de metanogénesis el pH normalmente se encuentra entre 6-8 [12].

Se determina a partir de esta información que es una de las variables directas del control del proceso digestivo.

2.10.2. POTENCIAL ÓXIDO REDUCCION (REDOX)

El potencial redox es un valor relativo que permite la medición de manera sencilla, al establecer que si se tiene un valor positivo hay un proceso de oxidación y si hay un valor de baja magnitud se presenta una reducción, en el proceso anaerobio debe estar dando un valor entre 800mV y -250mV en relación de la actividades metabólicas [12 y 27].

2.10.3. NUTRIENTES

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos son el carbono y nitrógeno [11]. En relación C/N debe ser entre 16:1-25:1, el carbono contenido en el inoculador permitirá dar paso al proceso de producción de biogás mediante la generación de metano, hay que tener en cuenta que se debe adicionar un sustrato que tenga proporciones balanceadas y mezcladas de manera homogénea para un proceso controlado [12].

2.10.4. TEMPERATURA

Trabajando en el rango mesofilico se asegura una temperatura óptima para el desarrollo microbiano que es de 38 grados centígrados, el rango operación esta entre 30° y 40°C [12].

2.10.5. TOXICIDAD E INHIBICIÓN

Las formas no ionizadas de los ácidos grasos volátiles, así como el amoníaco libre o el ácido sulfhídrico con inhibidores de importancia de las bacterias metano génicas. Estos compuestos presentan una inhibición de tipo reversible, o toxico a altas concentraciones [12].

2.10.6. AGITACIÓN / MEZCLADO (Homogenización)

Hay diferentes razones para mantener un cierto grado de agitación en el medio en digestión:

- *Mezclado y homogenización del sustrato de alimentación con el sustrato en digestión.*
- *Distribución uniforme de calor para mantener una isotérmica suficientemente correcta.*
- *Evitar la formación de espuma o la sedimentación.*
- *Favorecer la transferencia de gases, que pueden ser atrapados en forma de burbujas en el sustrato.*

La potencia necesaria para cubrir la demanda energética de la agitación varía en función del volumen y la forma del digestor, y de las características del residuo.

2.11. OTROS PARÁMETROS

“Otros parámetros, tales como tiempo de retención o velocidad carga orgánica, depende del tipo reactor adoptado, de las características del sustrato y de aspectos cinéticos” [12].

2.12. ASPECTOS AMBIENTALES

Los residuos orgánicos presentan actividad microbiológica de forma natural, debido a la presencia de microorganismos. Esto implica que se producen procesos naturales de descomposición y que el control inadecuado, o nulo, en su gestión incide en emisiones de gases a la atmósfera, entre ellos gases de efecto invernadero (como el mismo metano) [13].

2.13. AUTOMATIZACIÓN

La automatización se puede puntualizar como un sistema de fabricación diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas y realizarlas en menor tiempo para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana.

Existen ciertas señales indicadoras que justifican y hacen necesario la implementación de estos sistemas, los indicadores principales son los siguientes[14]:

- *Requerimientos de un aumento en la producción.*
- *Requerimientos de mejora en la calidad de los productos.*
- *Necesidad de bajar los costos de producción.*
- *Escasez de energía.*
- *Encarecimiento de la materia prima.*
- *Necesidad de protección ambiental.*
- *Necesidad de brindar seguridad al personal.*
- *Desarrollo de nuevas tecnologías*

Algunas ventajas y beneficios de orden económico, social y tecnológico [15]:

- *Mejorar en la calidad del trabajo del operador y en el desarrollo del proceso, esto dependerá de la eficiencia del sistema implementado.*
- *Reducción de costos, puesto que se racionaliza el trabajo, se reduce el tiempo y dinero dedicado al mantenimiento.*
- *Se obtiene un conocimiento más detallado del proceso, mediante la recopilación de información y datos estadísticos del proceso.*
- *Factibilidad técnica en procesos y en operación de equipos.*
- *Factibilidad para la implementación de funciones de análisis, optimización y auto diagnóstico.*
- *Aumento en el rendimiento de los equipos y facilidad para incorporar nuevos equipos y sistemas de información.*
- *Disminución de la contaminación y daño ambiental.*
- *Racionalización y uso eficiente de la energía y la materia prima.*
- *Aumento en la seguridad de las instalaciones y la protección a los trabajadores.*

2.13.1. SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN

En los sistemas automatizados la inteligencia del proceso no está dada por el ser humano, sino que es administrada por una unidad de control se muestra en el Diagrama 4. La tecnología usada ha adoptado diferentes formas desde automatismos mecánicos hasta los actuales automatismos con inteligencia artificial.

La combinación de la inteligencia de los autómatas programables con los accionadores industriales, así como el desarrollo de captadores y accionadores cada día más especializados, permite que se automatice un mayor número de procesos [15].

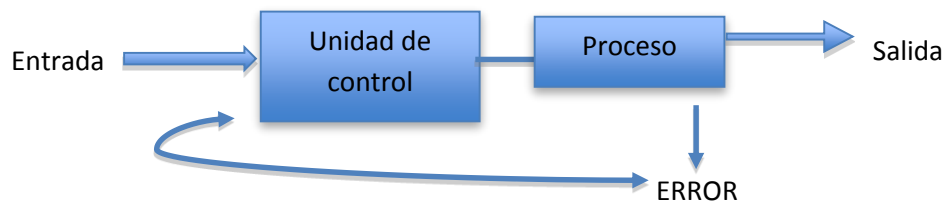


Diagrama 2. Diagrama general de control.

2.14. LOS SISTEMAS DE CONTROL

Desde el punto de vista de la ingeniería electrónica la teoría de control, es un sistema o proceso que está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales, Un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorar la salida en función de señales o datos de entrada [15].

2.14.1. CONTROL EN LAZO ABIERTO

Este tipo de control se los utiliza para sistemas bien definidos donde la salida puede ser resultado de un cálculo matemático, como es el caso de un accionamiento de un motor por frecuencia variable para nuestro agitador se muestra en la Figura 1 [15].

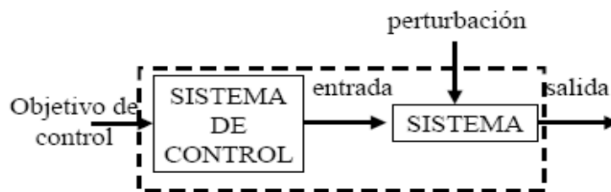


Figura 1 Diagrama de bloque control en lazo abierto.

2.14.2. CONTROL EN LAZO CERRADO

Se utiliza cuando haya cambios en la carga en el proceso y este provocara alteraciones en la variable controlada con mayor o menor efectividad y también para saber en qué estado se encuentra nuestra planta, por medio de una realimentación medida en la salida de control, para nuestro caso se utiliza un control en lazo cerrado para el control de temperatura del reactor, se muestra en la Figura 2[15].

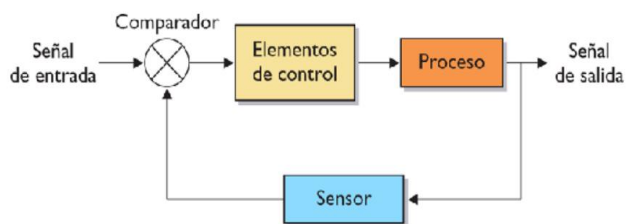


Figura 2 Diagrama de bloque control en lazo cerrado

2.15. SOFTWARE CONTROLADOR

LabVIEW es una herramienta de programación grafica para pruebas, control y diseño mediante la programación de bloques. El lenguaje que usa se le llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Grafico. Este programa fue creado por Nacional Instruments (1976) para funcionar sobre maquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux. La versión actual 2014, publicada en agosto de 2014, cuenta con soporte para Windows Seven (Win 8.1) [16].

2.15.1. PROGRAMACIÓN CON LABVIEW

Es una herramienta grafica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener prediseñado una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual, en vez de estar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir mucho menos tiempo y dedicarse un poco más en la interfaz gráfica y la interacción con el usuario final. Cada VI consta de dos partes diferenciadas [16]:

Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, se utiliza para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real [16].

Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan iconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa. Suele haber una tercera parte icono/conector que son los medios utilizados para conectar un VI con otros Vis [16].

2.15.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Su principal características es la facilidad de uso, valido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer sistemas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales [16]

Presenta facilidades para el manejo de Interfaz de comunicaciones:

- *Puerto serie.*
- *Puerto paralelo.*

- *GPIB.*
- *PXI.*
- *VXI.*
- *TCP/IP, UDP, DataSocket.* • *Irda.*
- *Bluetooth.*
- *USB.*
- *OPC.*

2.15.3. PRINCIPALES USOS

Es usado principalmente por ingenieros y científicos para tareas como [17]:

- *Adquisición de datos y análisis matemático.*
- *Comunicación y control de instrumentos de cualquier fabricante.*
- *Automatización industrial y programación de PACs (Controlador de automatización programable).*
- *Diseño de controladores: simulación, prototipaje rápido, hardware en el ciclo (HIL) y validación.*
- *Diseño embebido de micros y chips.*
- *Control y supervisión de procesos.*
- *Visión artificial y control de movimiento.*
- *Robótica.*
- *Domótica y redes de sensores inalámbricos.*
- *En 2008 el programa fue utilizado para controlar el LHC, el acelerador de partículas más grande construido hasta la fecha.*
- *Pero también juguetes como el Lego Mindstorms o el WeDo lo utilizan, llevando la programación gráfica a niños de todas las edades.*

2.16. EQUIPO DE CONTROL DE SEÑAL (DAQ-6008)

La tarjeta de adquisición de datos DAQ USB-6008 ver Figura 3 es un dispositivo desarrollado por la empresa *National Instruments* que permite la mediciones de

entradas análogas o digitales o transformarlas entre sí para la adquisición de datos la Figura 4 [16].



Figura 3 DAQ USB- 6008

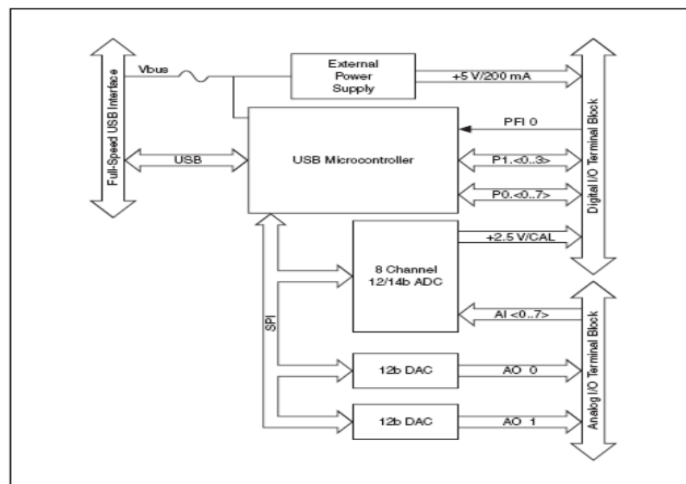


Figura 4 Diagrama de bloque de DAQ 6008

2.17. MARCO NORMATIVO

2.17.1. LEYES, DECRETOS Y RESOLUCIONES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS

Ley 99 de diciembre 22 de 1993 elaborada por el Congreso de la República de Colombia, crea el Ministerio del Medio Ambiente, en donde se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se constituye el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones.

Ley 142 de 1994 elaborada por Congreso de la República de Colombia, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios donde se incluye el servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones.

Decreto 605 de 1996, por medio del cual se establecen los lineamientos para la adecuada prestación de un servicio de aseo desde su generación, almacenamiento, recolección y transporte, transferencia hasta su disposición final y las prohibiciones y sanciones en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo (Capítulo I del título IV).

Política Nacional para la gestión Integral de Residuos, 1997, elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente. Contiene el diagnóstico de la situación de los residuos, los principios específicos (Gestión integrada de residuos sólidos, análisis del ciclo del producto, gestión diferenciada de residuos aprovechables y basuras, responsabilidad, planificación y gradualidad), los objetivos y metas, las estrategias y el plan de acción. Plantea como principio la reducción en el origen, aprovechamiento y valorización, el tratamiento y transformación y la disposición final controlada, cuyo objetivo fundamental es “*impedir o minimizar*” de la manera más eficiente, los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente que ocasionan los residuos sólidos y peligrosos, y en especial minimizar la cantidad o la peligrosidad de los que llegan a los sitios de disposición final, contribuyendo a la protección ambiental eficaz y al crecimiento económico.

Resolución 1096 de 2000, expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico, por el cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- RAS.

Resolución 201 de 2001, expedida por la comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico, por la cual se establecen las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los planes de gestión y resultados.

2.17.2. NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS SOBRE EL APROVECHAMIENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

El Comité Técnico 000019 Gestión Ambiental sobre residuos sólidos ha trabajado en la elaboración de algunas guías que buscan brindar orientaciones para llegar a un buen manejo de los residuos.

GTC 24: 16 de diciembre de 1986. Guía para la separación en la fuente. Establece directrices para realizar la separación de residuos en las diferentes fuentes generadoras: doméstica, industrial, comercial, institucional y de servicios con el fin de facilitar su posterior aprovechamiento.

GTC 35: 16 de abril de 1996. Guía para la recolección selectiva de residuos sólidos. Suministra pautas para efectuar una recolección selectiva como parte fundamental en el proceso que permite mantener la calidad de los materiales aprovechables.

CAPITULO 3 DESARROLLO CENTRAL

3.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO DEL PROYECTO DE GRADO

La metodología de este trabajo de opción de grado se desarrolló a través de las siguientes etapas, se muestra en el diagrama de flujo 1:

Etapas 1. Revisión bibliográfica: Se revisó la información bibliográfica sobre residuos sólidos, biodigestores y las ventajas; además se realizaron las consultas previas para el análisis de la problemática ocasionada por la alta generación de residuos sólidos orgánicos, y métodos de control electrónicos, señales de adquisición de datos.

Etapas 2. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos: Se identificaron las propiedades físicas de los residuos sólidos orgánicos típicos generados en un hogar de la ciudad de Bogotá, tomando en consideración para las pruebas los de tipo vegetal por el alto porcentaje de consumo para ser usado de sustrato para los microorganismos, se hace mención que se realizó por parte del semillero economía azul de la facultad de ingeniería ambiental en la Universidad Santo Tomás en relación al cumplimiento de esta etapa en el año 2013.

Etapas 3. Selección de las heces de animales: Se identificaron las propiedades físicas y biológicas de las heces caninas empleadas como inoculador en el biodigestor. Se le solicitó a través de un estudiante de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de la Salle un examen coprológico de las heces del can seleccionado e indicar la metodología de trabajo para cada prueba para ser mencionadas en el trabajo de proyecto de grado.

Etapas 4. Características de diseño: Se realizó la recolección de residuos sólidos en mención y de las heces caninas; de acuerdo a los resultados obtenidos, se planteó el diseño del biodigestor y la capacidad hidráulica del equipo mediante un proyecto.

Etapas 5. Descripción del sistema del biodigestor: Para el diseño del sistema del biodigestor anaerobio se planteó el esquema del sistema electrónico para el control y se determinó los equipos necesarios para el control de los parámetros de pH, presión, potencial de óxido reducción y temperatura del sistema, además que fueran compatibles con la herramienta de diseño LabVIEW a partir de la información suministrada por la recolección de los residuos sólidos orgánicos se planteó el sistema de adquisición de señal.

Etapas 6. Diseño del sistema de control mediante la herramienta de diseño LabVIEW para el biodigestor anaerobio: Se realizó el dimensionamiento geométrico y tolerancia de los equipos que componen el sistema de digestión anaerobia los cuales son el bioreactor, las tolvas y el tanque de almacenamiento

para la adquisición de información se hizo la instalación de los sensores al bioreactor.

Etapa 7. Montaje del equipo: Una vez realizado el dimensionamiento de los equipos y la identificación realizada en el diseño preliminar del bioreactor se establecieron los parámetros más importantes a ser controlados para un correcto funcionamiento en el proceso. Con estas observaciones se inició la construcción y corrección del sistema en el laboratorio de materiales semiconductores de celdas solares del edificio de física de la Universidad Nacional.

Etapa 8. Análisis de resultados: Por cuestiones de tiempo, económicos y de orden público, no se pudo realizar la prueba final en el biodigestor montado, por lo anterior se hicieron pruebas aparte de la biomasa y del sistema electrónico para verificar su adaptabilidad en otros sistemas. Se analizaron los resultados obtenidos de la biomasa en el laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomás y fueron plasmados en este documento, el sistema de control se diseñó en los laboratorios de electrónica en la misma Universidad Santo Tomás, con una secuencia lógica y de fácil manejo.

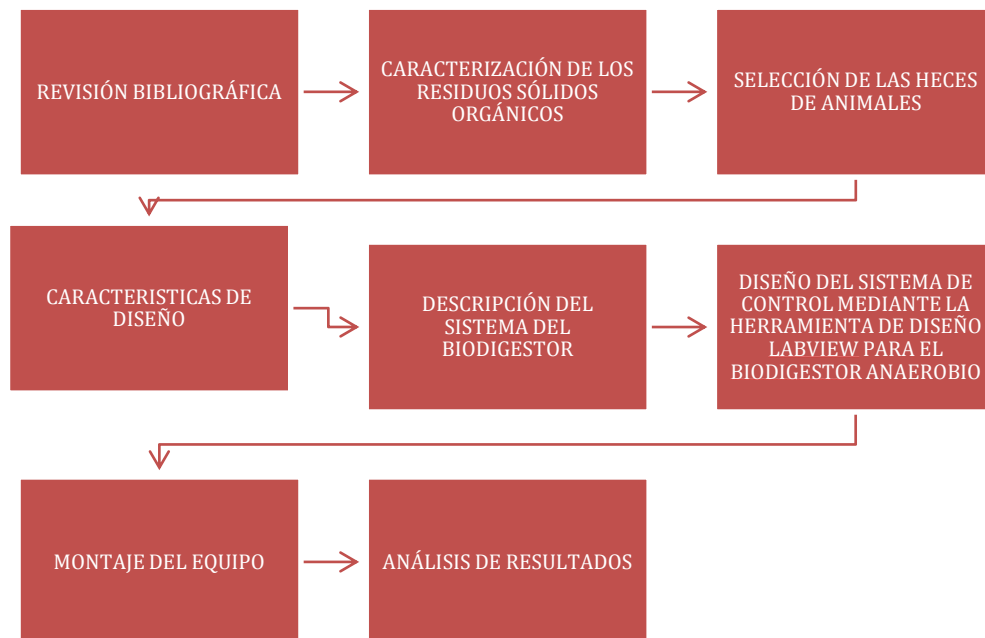


Diagrama de flujo 1. Metodología de trabajo

3.1.1. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Se realizó un muestreo representativo tomando 5 muestras similares de los residuos sólidos orgánicos (RSO) tipo vegetal, la concentración del sustrato se expresó como peso seco (0,35 g/ml) por unidad de volumen, el cual está compuesto por corazones de manzanas, cáscaras de peras, cáscaras de

bananos, cáscaras de plátanos, cáscaras de mangos, cáscaras de papas, cáscaras de papayas, y cáscaras de melones, se utilizó este tipo de residuos por motivo de la alta cantidad de fructosa ya que favorece el desarrollo microbiano como se menciona en [11], disminuyendo tiempos de producción y obtención de biogás, en el anexo 1 se detalla la caracterización.

- **Muestreo del hogar seleccionado:** Durante seis meses se realizó un muestreo de observación del hogar seleccionado para la identificación de los residuos sólidos orgánicos tipo vegetal que se producen en el hogar, luego se inició la recolección de los residuos sólidos orgánicos de tipo vegetal que se producen con mayor frecuencia en el hogar.
- **Caracterización de las heces:** Se realizó un examen de caracterización de las heces caninas para establecer si existían riesgos biológicos, estos exámenes los realizaron la facultad de veterinaria de la Universidad de la Salle como se mencionó anteriormente.
- **Definición de los residuos sólidos tipo vegetal:** Se seleccionó residuos sólidos orgánicos de tipo vegetal, específicamente frutas por su alto contenido de fructuosa y su corto tiempo de degradación. Se seleccionaron residuos sólidos de jardín para controlar el olor y la humedad.

Se estableció el procedimiento y las normas de seguridad para el trabajo de campo, teniendo en consideración:

- *Muestreo*
- *Equipo protector*
- *Primeros auxilios*
- *Residuos peligrosos*
- *Emergencias*

3.1.1.1. ESTADÍSTICA DE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Se estableció por método de observación sistematizada (o controlada) que se emplearían la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, por concepto que hay una repetición en la generación de estos residuos en el hogar continuamente, se realizó un proceso estadístico para hallar un peso promedio que permitió el cálculo de los parámetros de humedad, peso seco, peso húmedo, y densidad, mediante el programa Microsoft Excel se realizó el cálculo, en la Tabla 2 se observa.

Tabla 2 ESTADÍSTICA DE LOS RSO

Muestra	Peso de la muestra	Desviación estándar del peso seco
C. papa	42(g)	+/- 0,24
C. Banano	157,5(g)	+/- 1,00
Plátano	73,5 (g)	+/- 0,71
Corazón de M.	63 (g)	+/- 0,24
C. Melón	75 (g)	+/- 0,71
C. Papaya	105 (g)	+/- 0,71
C. pera	73,5 (g)	+/- 0,55
C. Mango	52,5 (g)	+/- 0,84

*(C= cascara, y M= manzana).

3.1.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

La metodología de trabajo es mencionada en el anexo 1 donde se estableció los parámetros para la identificación de la composición física y química de los residuos sólidos orgánicos, el tamaño de la fracción orgánica de los residuos urbanos generados por el hogar fue de 7,73 kg promedio semanales, por lo que se determinó mediante muestreo estratificado dando un tamaño de muestra de 1.10 kg, tomando 642 gramos para la caracterización. El peso volumétrico promedio determinado *in situ* fue de 154.4 g/cm³. El porcentaje en peso de la categorización de subproductos se muestra en la Tabla 3.

TABLA 3 PORCENTAJES DE LA MATERIA ORGÁNICA

Muestra	Peso de la muestra (g)	porcentaje de la muestra
Cascara de papa	42	6,54%
Cascara de Banano	157,5	24,53%
Plátano	73,5	11,45%
Corazón de Manzana	63	9,81%
Cascara de Melón	75	11,68%
Cascara de Papaya	105	16,36%
Cascara de pera	73,5	11,45%
Cascara de Mango	52,5	8,18%
TOTAL	642	100%

Categorizando los residuos sólidos orgánicos de los principales productos, se obtuvieron los siguientes resultados: Cascara papa 6,54%, cascara de banano 24,53% (siendo el más predominante en la alimentación del hogar de estudio), cascara de plátano 11,45%, corazón de manzanas 9,81%, cascara de melón 11,68% fueron los encargados de brindar un componente alto de humedad a la biomasa, la cascara de papaya 16,36%, corazón de pera 11,45% (dieron un agarre entre los demás elementos) y los restos de cascara de mango 8,18% dieron un alto contenido de fructosa a la sustrato para la alimentación de los microorganismos.

3.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS HECES CANINAS

3.1.3.1. ALIMENTACIÓN DEL CAN

Se recolectaron heces caninas de un can de raza CHOW CHOW con 5 años de edad. El can fue alimentado durante 8 meses con purina marca NUTRE CAN. Se recolectaron (0,1875kg/día), se le adición de 350 ml de agua para crear un para homogenizar la materia prima en el relación al sustrato, obtenido un volumen de 0,00175 m³ de heces.

3.1.3.2. CARACTERIZACIÓN DE HECES CANINAS

Se realizó la caracterización mediante un examen microbiano (*Coprológico*) explicado en [28 y 29], el cual consiste en la identificación de la estructura de las heces a nivel macroscópico, microscópico y parasitológico, como el examen no tiene relevancia clínica no se deja registro, brindando resultados favorables para usar las heces del can seleccionado como inoculador de microorganismos metanogénicos en el reactor.

Se hace mención que este estudio determina la viabilidad de usar heces caninas como inoculador mediante una relación frente a los resultado mostrados en los siguientes: en Gastrointestinal microorganisms in cats and dogs: a brief review, [17] y en Microbiología de la digestión anaerobia [18], donde se determinó de forma teórica las posibles cepas metanogénicas para la obtención de biogás a continuación se mencionan:

- *Methanobrevibacter.*
- *Methanosaeta*
- *Methanococcus*

3.1.4. ANTECEDENTE DE USO DE FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y HECES CANINAS EN REACTORES

3.1.4.1. ANTECEDENTE DE USO DE FRACCIÓN ORGÁNICA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN REACTORES

Destacar por una parte que el grupo de investigación Sacyr-Vallehermoso de la Universidad de Castilla [31-40], La Mancha, ha trabajado en las características de operación para los bioreactores alimentados por fracciones orgánicas de residuos sólidos urbanos, indicando en sus publicaciones parámetros para el diseño y montaje del equipo teniendo en cuenta que la estructura debe ser fuerte y estar sellada, se recomienda por parte de ellos usar los reactores en acero, ya que son más robustos y duraderos, permitiendo mantener bajo control los parámetros necesarios de operación como el control del pH, la temperatura y la presión del sistema durante el proceso de fermentación; además garantizar que cuando el reactor esté en funcionamiento halla ausencia de oxígeno para el desarrollo de las bacterias anaeróbicas, teniendo en consideración esta información más lo indicado en la ISO 13033 se establece el esquema de diseño del equipo.

Destacar que el grupo de investigación GITEINCO de la Universidad de Cundinamarca ha presentado trabajos sobre diseño [41-43], automatización y control electrónico en diferentes equipos, establece métodos para controlar variables orgánicas como el contenido de O₂ en el reactor por motivos de explosividad y mantener las reacciones anaeróbicas, las concentraciones de sustancias inhibitoras como metales pesados y sulfuros, mantener el control del pH del medio (6,5 a 7,5), el control de la cantidad de nutrientes para los microorganismos (N y P), el control del contenido de materia seca, el control de la temperatura dependiendo de la tecnología usada (rango mesófilo o termófilo) y el control de la presión en reactor, que fueron acoplados para el desarrollo del presente proyecto.

3.1.4.2. ANTECEDENTE DE USO DE HECES CANINAS EN REACTORES

En el proyecto de grado presentado por la estudiante Melody Kelemu de la Universidad de New York en noviembre del 2012 se propone un método para obtener energía a partir de los excrementos de los perros empleando un bioreactor. El método consistía en que los dueños recogían los excrementos de sus perros en una bolsa biodegradable, procedían a depositarlos en un biodigestor de metano (tanque herméticamente cerrado, donde las heces de los perros son degradadas por bacterias anaerobias) que daba como producto el gas metano se libera a la atmósfera en el proceso, y este gas alimentaba una farola de gas de combustión en el parque.

Melody propuso que debía haber dos tanques; el primero para el funcionamiento y el segundo se utilizan para contener los residuos de producidos.

Convertir los residuos sólidos orgánicos en energía no es algo nuevo, Granjas y Ranchos utilizan digestores anaeróbicos para recuperar el metano del excremento animal para producir electricidad, calor y agua caliente. Los digestores reducen los costos de energía y el producto del gas metano disminuyen las emisiones que contribuyen al calentamiento global.

3.1.5. SUSTRATO UTILIZADO

El sustrato empleado está compuesto por materia orgánica tipo vegetal que predomina el 77% de la biomasa empleada con alta cantidad de fructosa, permitiendo el crecimiento celular, mantenimiento las actividades vitales y la generación de productos, se observa que el carbono es el mayor componente de la materia orgánica (48%), el cual es utilizado por los microorganismos, en los documentos [11 y 19] indica que la relación C/N debe ser mayor a 16:1; de otra

manera la descomposición se reduce en cuestión de tiempo porque se forman compuestos no biodegradables, la relación C/N de manera teórica se calculó dando como resultado 22:1 y se calculó de forma teórica la adicción, de 41,5gr de residuos sólidos de jardín para la homogenización de la biomasa a procesar.

En el artículo [26] se propone la adición de agua para mejorar el medio de cultivo microbiano y para tener diluido los nutrientes en la biomasa, por tal motivo se adición a los residuos sólidos orgánicos 129 gr, obteniendo un nuevo peso de 771 gr del cual solo se tomó el peso seco de los residuos orgánicos para realizar los cálculos, tenido en cuenta la metodología del reglamento técnico del sector de agua potable saneamiento básico Ras 2000 sección II título F (la Tabla 4).

TABLA 4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE RSO Y LAS HECES CANINAS

Muestra	Gramos	Gramos	Gramos	Gramos/ Cm³	BF	% de Humedad
	Peso Neto	P. seco	P. Húmedo	Densidad	Biodegradabilidad	%
Residuos Orgánicos	771	231,3	539,69	0,2	0,72	70
Heces caninas	187,5	56,25	131,25	0,3	0,64	70
Residuos de Jardín	41,5	12,45	29,05	0,16	0,7	70
Total	1000	300	699,99			

CAPITULO 4 CARACTERISTICAS DE DISEÑO

4.1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el planteamiento del diseño se tuvo en cuenta tres criterios, estos permitieron establecer la viabilidad del proyecto desde el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos tipo vegetal hasta el montaje del biodigestor se muestra en la tabla 5.

TABLA 5 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DEL PROCESO.

TIPO DE CRITERIOS	CRITERIOS
Técnicos	Características del lugar de trabajo, Tipo de proceso, Volumen de residuos orgánicos, y Cálculo de la formula química de la biomasa.
Económicos	Costos de Inversión, Costos de operación, Costos de mantenimiento y Período de vida útil.
Sociales	El control en la fuente.

4.2. CRITERIOS TÉCNICOS

4.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR DE TRABAJO

El montaje del sistema se llevó a cabo en el laboratorio de Materiales Semiconductores y Energía Solar de la Universidad Nacional de Colombia, donde se construyó el biodigestor anaerobio discontinuo en un área de 1,5 m² y una altura de 3 m. En el laboratorio de Microbiología de la Universidad Santo Tomás se realizó la caracterización de los residuos sólidos orgánicos tipo vegetal, y de las heces caninas. Adicionalmente, las pruebas del sistema electrónico, usando modelos de control proporcional integral (PI) que permite determinar la velocidad de adquisición de datos entre los transductores y el programa lector (LabVIEW), se realizaron en los laboratorios de la facultad de electrónica de la Universidad Santo Tomás.

4.2.2. TIPO DE PROCESO

Se determinó que el proceso del bioreactor fuera discontinuo, debido a que el bioreactor se diseñó para hacer pruebas de diferentes sustratos e inoculadores, en cortos periodos de tiempo. Por tal motivo se debe purgar semanalmente el sistema para prevenir riesgos biológicos y modificaciones de resultados.

4.2.3. VOLUMEN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El volumen de los Residuos Sólidos Orgánicos es el sustrato para la alimentación de las cepas microbianas siendo la variable independiente del proceso interno por motivo que se pueden variar los volúmenes introducidos al reactor, para el cálculo se determinó que fuera un volumen de 2,19 litros de sustrato que la máxima capacidad de producción en el hogar, compuesto por residuos sólidos orgánicos tipos vegetales, para ser introducido al bioreactor para permitir el desarrollo de los microorganismos [20], se usó agua de lluvia debido a que no es toxica, ni altera las familias microbianas.

4.2.4. CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE FORMA TEÓRICA

A partir de la información suministrada en el artículo [20] sobre las heces vacunas se determinó el tiempo de retención mediante el Modelo de Flujo Arbitrario se determinó la producción de biogás de forma teórica para plantear las bases del diseño del biodigestor al no poseer información clara de la producción de biogás por parte de las heces caninas y de los residuos orgánicos, determinado un tiempo de retención de 7 días.

4.2.4.1. CÁLCULO DE LA CARGA HIDRÁULICA

Uno de los principales parámetros en la operación del biodigestor anaerobio discontinuo, es la carga inicial de biomasa, por tal motivo se hace el cálculo de tiempo de retención usando como par (similar) la información suministrada en el documento [21] Método de cálculo cinético para reactores anaerobios discontinuos y agitados, aplicado para aguas residuales con residuos orgánicos domésticos. la (ecuación 1):

$$Q = \frac{V}{Tr} \cdot [21] \quad (1)$$

Dónde:

Q = Carga hidráulica

V = Volumen de proceso del biodigestor

TR = Tiempo de retención en días = 7 días

Sustituyendo los valores tenemos

$$Q = \frac{0,0498m^3}{7 \text{ dias}}$$

$$Q = 7.11 \times 10^{-3} \frac{m^3}{semana}$$

4.3. CÁLCULO DE LA FORMULA QUÍMICA DE LA BIOMASA

La fórmula empírica de la biomasa ($C_xH_yO_zN$) es utilizada en el equilibrio de las reacciones biológicas. Sin embargo, la proporción relativa de los elementos realmente presentes en las células depende de las características de los microorganismos implicados, el sustrato utilizado, y los nutrientes necesarios para el crecimiento microbiano, cada sustrato e inoculador modifica la formula empírica se muestra en la tabla 6 se muestran algunos ejemplos de fórmulas empíricas de biomasa.

TABLA 6 FÓRMULAS QUÍMICAS EMPÍRICAS DE LA BIOMASA*REFERENCIA DEL DOCUMENTO [11]

Cultivos mixtos	Peso de la Formula	Demanda química de oxígeno / peso	Sustrato de crecimiento y las condiciones ambientales
$C_5H_7O_2N$	113	1,42	Caseína y aerobio
$C_7H_{12}O_4N$	174	1.33	acetato, fuente Nitratos, amoniaco, aeróbico
$C_9H_{15}O_5N$	217	1,40	acetato, fuente nitrito, aeróbico
$C_{5.1}H_{8.5}O_{2.5}N$	124	1,35	Glucosa, metanogénicas
$C_{4.1}H_{6.8}O_{2.5}N$	105	1.20	Caldo nutritivo, metanogénicas

Es por esta información que se calculó de forma teórica la fórmula de biomasa teniendo en consideración la composición química de los residuos sólidos orgánicos tomando el peso seco 231.3 gr/semana como base de estudio, se realizó el cálculo se muestra en la tabla 7, tomando el porcentaje del elemento convirtiéndolo en moles.

Tabla 7 CÁLCULO DE MOLES EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RSO
*REFERENCIA DEL DOCUMENTO “BIOREACTION ENGINEERING”[21]

Elemento	% del elemento en R.S.O ^[22]	Peso seco (gr)	Peso molecular (gr/mol)	Moles
C	48	111	12	9,25
H	6,4	14,8	1	14,8
O	37,6	86.96	16	5,435
N	2,6	6,01	14	0,430
S	0,4	0,93	32	0,029

Se realizó una relación C/N según el método de [21] tomado del libro *Bioreaction Engineering*, que hace una relación entre elementos con respecto al valor del nitrógeno que dio N=0,430.

4.3.1.VOLUMEN DEL GAS TEÓRICO EMITIDO POR LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICA

Con la relación de nitrógeno (n=1) obtenemos los datos necesarios para determinar la estructura química del sustrato, en la Tabla 8 se muestra las variables a remplazar.

TABLA 8 VARIABLES A REMPLAZAR EN LA ECUACIÓN.

Variables a remplazar			
Carbono	C	a	22
Hidrogeno	H	b	34
Oxígeno	O	c	13
Nitrógeno	N	d	1

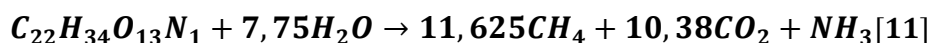
- Cálculo de la ecuación de volumen de gas emitido (Ecuación 2)[11].

$$C_a H_b O_c N_d + \left(\frac{4a - b - 2c + 3d}{4} \right) H_2O \rightarrow \left(\frac{4a - b - 2c - 3d}{8} \right) CH_4 + \left(\frac{4a - b + 2c + 3d}{4} \right) CO_2 + d \quad (2)$$

Nota: Remplazamos la ecuación química con los valores calculados

$$C_{22}H_{34}O_{13}N_1 + \left(\frac{4_{22} - b - 2_{13} + 3}{4} \right) H_2O \rightarrow \left(\frac{4_{22} - b - 2_{13} - 3}{8} \right) CH_4 + \left(\frac{4_{22} - b + 2_{13} + 3}{4} \right) CO_2 + NH_3$$

- Al remplazar el resultado queda la siguiente ecuación:



- Volumen de metano y dióxido de carbono producidos (Ecuación 3) [11].

$$CH_4 = \text{Peso molecular } CH_4 * \left(\left(\frac{\text{peso seco}}{P_{\text{molecular de CHONS}} * \delta CH_4} \right) \right) \quad (3)$$

$$CO_2 = \text{Peso molecular } CO_2 * \left(\left(\frac{\text{peso seco}}{P_{\text{molecular de CHONS}} * \delta CO_2} \right) \right) [11]$$

- Densidad de cada compuesto calcular la producción de biogás:

$$\delta CH_4 = 0,66 \frac{m^3}{kg} [11]$$

$$\delta CO_2 = 1,6 \frac{m^3}{kg} [11]$$

- Cálculo de producción de biogás generado tomando el peso seco real de la materia orgánica, de acuerdo a la literatura [11] está en los intervalos de producción de biogás esperado por la materia orgánica sin haber realizado las pruebas al inoculador.

- **Metano**

$$CH_4 = 186,58 CH_4 * \left(\frac{0,231 \frac{kg}{semana}}{520,57 CHONS * 0,66 \frac{m^3}{kg}} \right) = 0,0827 \frac{m^3}{Semana}$$

- **Dióxido de carbono**

$$CO_2 = 456,82 CO_2 * \left(\frac{0,231 \frac{kg}{semana}}{520,57 CHONS * 1,6 \frac{m^3}{kg}} \right) = 0,202 \frac{m^3}{Semana}$$

- Calculamos la cantidad total de gas generado por unidad en peso seco de materia introducida la biodigestor, está dando por encima de la teoría 9 [11] (Ecuación 4).

$$CT = \frac{\text{volumen } CH_4 + \text{volumen } CO_2}{\text{Peso seco}} \quad (4)$$

$$CT = \frac{0,0827 m^3 CH_4 + 0,202 m^3 CO_2}{0,231 kg}$$

$$CT = 1,23 \frac{m^3}{kg}$$

La producción en relación con el peso seco de la materia orgánica con respecto al metano esta entre de $0,358 \frac{m^3}{kg}$ a $0,543 \frac{m^3}{kg}$ con estos datos se puede determinar el potencial energético.

4.3.2. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA

Los residuos orgánicos tipo vegetal presentan valores de humedad y PCI (poder calorífico inferior) dentro de los rangos de los residuos agrícolas, por esta razón el

modelo considera el metano recolectado sin perdidas y con una producción de amoníaco igual a cero; por tanto, su aporte al potencial energético es mínimo. La estructura del modelo se define [21] se observa en la ecuación 5:

$$PE_{BRSOU} = M_{RSOU} * FO * FCB * FCM * \frac{16}{12} * PCI_{CH_4} \quad (5)$$

Dónde:

PE_{BRSOU} =Potencial energético de biomasa residual solidos orgánicos urbanos (kilojulios/semana).

M_{RSOU} =Masa de residuos orgánicos generado (kilogramos/semana).

FO = Fracción orgánica de los residuos de rápida biodegradación, expresada como kg materia orgánica/materia total.

FCB = Fracción de carbono de los residuos de rápida degradación, expresado como kg de carbono biodegradable/ kg de materia biodegradación.

FCM =Fracción de carbono biodegradable a metano, expresado como kg carbono degradable a CH_4 /kilogramo de materia biodegradable

PCI_{CH_4} =Poder calorífico inferior del metano (kilojulios/kilogramos de materia seca)

El factor 16/12 corresponde a la relación de la masa molar del metano (16g/g-mol) a la masa molar del carbono (12g/g-mol) y permite convertir la masa de carbono biodegradado en la masa de metano generado. Las variables FCB , FCM y FO están relacionadas con las propiedades fisicoquímicas de los residuos.

Solución:

PE_{BRSOU} = (kilojulios/semana).

M_{RSOU} = 0,771 (kilogramos/semana).

FO = 1 (kg materia orgánica/materia total).

FCB = 0,622 (kg de carbono biodegradable/ kg de materia biodegradación) [21].

FCM = 622,56(kg carbono degradable a CH_4 /kilogramo de materia biodegradable) [21].

PCI_{CH_4} = 68,44 (15,40kilojulios en [21] /0,225kilogramos de materia seca) [21].

$$PE_{BRSOu} = 0,771 * 1 * 0,622 * 622.56 * \frac{16}{12} * 68,44$$

$$PE_{BRSOu} = 27244,2 \text{ Kilojulios/semana}$$

$$PE_{BRSOu} = 0,045 \text{ KWH}$$

Se obtuvo un valor de 0,045 KWH de potencial biomasa residual dando por encima de lo proyectado por costo de energía del bioreactor que fue 16500 watt mensuales y dando unos valores semejantes a los indicados en [11] en la página 133.

4.4. CRITERIOS ECONÓMICOS

Uno de los aspectos importantes para que se establezca un proceso es su viabilidad económica, por lo cual se realizó la cotización en diferentes puntos de ventas de equipos electrónicos en la ciudad de Bogotá donde se obtuvieron los precios que fueron más accesibles para la población en términos económicos.

Entre los factores preponderantes que se deben contemplar es la inversión inicial real, para ello, se contemplan los siguientes aspectos que permitieron la construcción del biodigestor anaerobio.

4.4.1. COSTOS DE LA INVERSIÓN

En la tabla 9 se muestra los materiales que se utilizan en la construcción del Biodigestor y su costo correspondiente.

TABLA 9 COSTOS DE INVERSIÓN.

Código de compra	Equipo	TOTAL
10901599	SSR 15 ^a 4-32VDC 240 VAC UL HONGFA	\$ 127.090,00
10901600	ELECTRODOS COMBINADOS DE ORP DE PLANTINO HANNA	\$ 492.769,00
10901601	BL 932700-0 ORP HANNA COD. BL932700-0	\$ 816.253,00
10901602	BL 931700-1PH HANNA	\$ 816.253,00
10901603	HI 1001 PH HANNA	\$ 513.236,00
10901607	TUBO 10" 5 CH 10*50CM AIN	\$ 556.800,00
10901608	TUBO 5" CAL 14*50CM AIN	\$ 174.000,00
10901609	TUBO 4" CAL 16"*10 CMS AIN	\$ 63.800,00

10901610	TUBO 6" SCH 10*30CM AIN	\$ 278.400,00
10901611	DISCO AIN 27* ¼	\$ 292.320,00
10901612	DISCO AIN 17 * 3/16	\$ 153.120,00
10901613	DISCO AIN 13 * ¼	\$ 194.880,00
10901614	DISCO AIN 10 * ¼	\$ 71.920,00
10901615	TUBO ½" 10*100CM AIN	\$ 250.560,00
10901616	LAMINA 10*40CM CALIBRE 14	\$ 180.960,00
10901617	VALVULA SELENOIDE ½ 110V	\$ 60.000,00
10901618	TRANSMISOR DE 10 BAR ¼ 4-20MA	\$ 500.088,00
10901709	TUBO ¼" 5 CH 10*300CM AIN	\$ 97.614,00
10901710	DISCOS AIN 13 ¼	\$ 292.320,00
10901711	TUBO ½" 10*100CM AIN	\$ 334.080,00
10901712	TUBO 2"5 CH 10*300CMS AIN	\$ 90.480,00
10901713	TUBO 3" 10*300CMS AIN	\$ 106.720,00
	TOTAL VALOR DEL PROYECTO	\$ 6.463.663,00

4.4.2. COSTOS DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y PERIODO DE VIDA ÚTIL

El costo de operación y de mantenimiento son bajos, el bioreactor consume 16500 Watts al mes lo equivalente a \$1293 pesos, teniendo en cuenta que 1kw equivale a \$78.29 pesos a 2014, lo equivalente al consumo de una nevera, abarcando el sistema eléctrico y de calefacción, el mantenimiento del reactor se realizará de forma mensual debido a que son equipos electrónicos y pueden haber fallas, consiste en limpieza del biodigestor, debido a que se debe eliminar cualquier riesgo biológico que pueda producir, se debe verificar que los equipos estén calibrados y en buen funcionamiento para tener un mayor periodo de utilidad, dando un costo promedio mensual para el funcionamiento es de \$5000 pesos a 2014, de igual forma cada mes se debe volver a inocular y estabilizar el sistema, ya que es un sistema diseñado para hacer pruebas a modo experimental en laboratorio en un hogar no es necesario inocular mensualmente el equipo, debido a que la materia prima que se utiliza en el proceso y es generada por residuos orgánicos de tipo vegetal el costo es igual a cero.

4.5. CRITERIOS SOCIALES

4.5.1. EL CONTROL EN LA FUENTE

El control desde la fuente consiste en la separación de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos como está estipulado en la ley 1259 de 2008, considerando una capacitación a la ciudadanía en general desde los hogares dando a conocer una alternativa de generación de energía renovable y limpia contribuyendo a la conservación del ambiente, el manejo de biodigestor es sencillo y amigable con el usuario.

CAPITULO 5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DEL BIODIGESTOR

5.1. DESCRIPCIÓN DEL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO

Se planteó por parte del autor de este documento y del grupo de *Materiales Semiconductores & Energía Solar* un sistema de digestión anaerobia de geometría cilíndrica de eje vertical, para la estructura de soporte del reactor se utilizaron 6 columnas de acero de 2 cm de grosor y una altura 2 m. La unión entre las mismas se realizó por medio de tornillos y angulares. Para dar una mayor estabilidad a la estructura se acopló una tabla de madera atornillada a la parte derecha del equipo se instaló una mesa para colocar el computador como se muestra en la ilustración 4 y teniendo en consideración el espacio disponible para trabajar en el laboratorio.

Para un fácil manejo del biodigestor, la parte superior de la estructura se construyó por parte del grupo de *Materiales Semiconductores y Energía Solar*, en dos partes, de tal modo que una de las partes sea móvil y se pueda quitar dejando espacio libre para acoplar y desacoplar. en el diagrama 3 se muestran los equipos utilizados en el sistema de digestión anaerobia.



Ilustración 4 Biodigestor anaerobio completo.

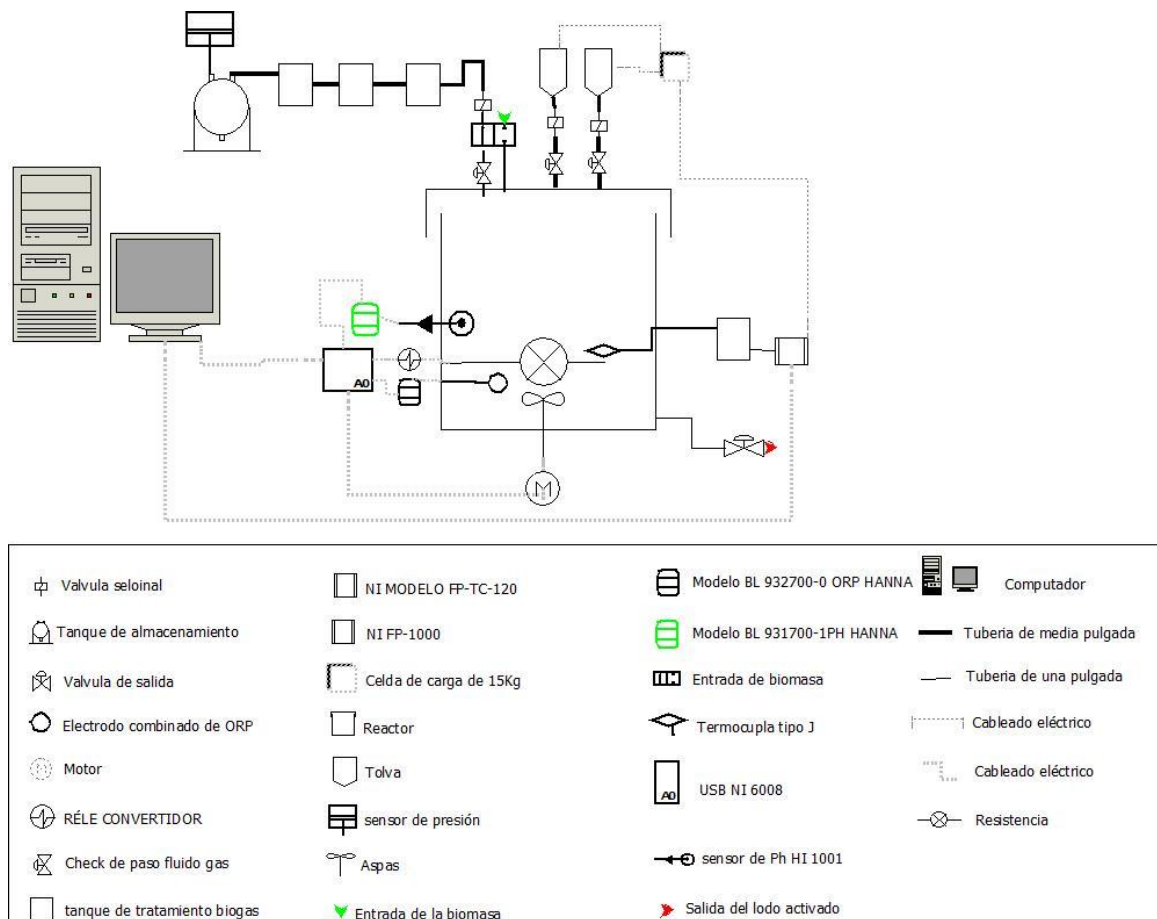


Diagrama 3. Partes del biodigestor.

5.1.1. DESCRIPCIÓN DEL REACTOR

Para el diseño del reactor, grupo de *Materiales Semiconductores & Energía Solar* propuso tener en consideración la información recolectada del sustrato de los residuos orgánicos tipo vegetal, mediante esta información se determinó el espesor del reactor, la velocidad del motor y el diseño del sistema de control electrónico mediante la herramienta de diseño LabVIEW.

Se tomó de la literatura [24] el diseño de las aspas para mejorar la homogenización e intercambio de calor, se le instaló una resistencia que ayudan a mantener el reactor en una temperatura de 37°C, para medir la temperatura se empleó la Termocupla tipo J, se muestra en la Figura 5.

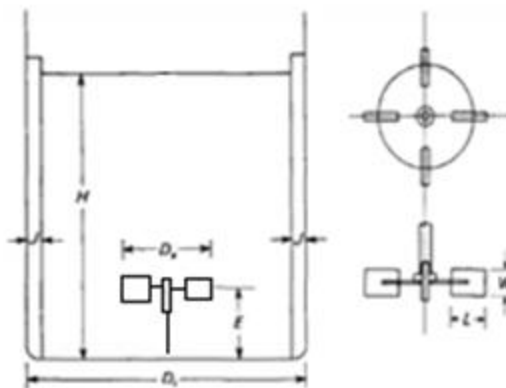


Figura 5 .Dimensionamiento geométrico y tolerancia del bioreactor.

H=70 cm (Altura)

E=4cm (Altura de la aspa con respecto a la base del reactor)

W=5mm (Altura aspás)

L= 1cm (Ancho)

DT=33.4cm (Diámetro del reactor)

DA=8cm (Diámetro de las aspás)

5.1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL VOLUMEN DEL REACTOR

El biodigestor se diseñó en colaboración con el grupo de grupo de *Materiales Semiconductores & Energía Solar* que tuviera un volumen total de 6.1 litros tomando en cuenta que aproximadamente 70% (4,29 litros) de este será ocupado por la mezcla residuos sólidos orgánicos-agua y el inoculador, dejando el 30% para la acumulación del biogás que se esté generando, este volumen se toma teniendo en consideración el espacio disponible en el laboratorio de la nacional para trabajar y el tiempo de retención para el estudio.

Se dimensionó con una capacidad para almacenar 6.1 litros; por lo cual se determinó dicho volumen basándose en los siguientes datos; diámetro 33,4 cm, altura 70 cm y con la ayuda del volumen de un cilindro, teniendo en consideración el espacio disponible para trabajar y el sustrato utilizado, se determinó que este volumen se tomaría del cálculo de la carga hidráulica, que tuvo en consideración de la información suministrada en [21], se distribuye el volumen potencial de producción en el bioreactor y en el tanque de almacenamiento (*Ecuación 6*).

$$V = \pi * r^2 * h \quad (6)$$

Con esta misma ecuación se determinó el volumen máximo de proceso dejando 21 centímetros libres en la parte superior del biodigestor para la acumulación de biogás donde:

V = Volumen de proceso del biodigestor
h = Altura del área de digestion 70 cm - 21cm = 49 cm
r = Radio biodigestor 16,7cm
 $\pi=3,1416$.

5.1.2. DESCRIPCIÓN DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Se hizo el diseño en colaboración con el grupo de *Materiales Semiconductores & Energía Solar* que el tanque de almacenamiento del biogás producido por el biodigestor tenga una capacidad de 1,13 litros, para soportar la producción de biogás por semana como lo indicó el cálculo de la carga hidráulica.

- Dónde:
- V = Volumen del tanque
- h = 30 cm (Altura real del tanque)
- r = 12cm (Radio real del tanque)
- $\pi=pi$
- Sustituyendo los valores tenemos

$$V_{tanque} = 3,1416 * (12cm)^2 * 30(cm)$$

$$V_{tanque} = 1,130litros$$

Calculó del espesor del reactor: Permite calcular las presiones máximas que puede soportar el biodigestor, es calculado mediante la siguiente formula, tomando los valores de los residuos sólidos orgánicos tipo vegetal como base para la formulación del espesor [24](Ecuación 7).

$$Td = \frac{0.005D(H-30.48)G}{Sd} + C \quad (7)$$

Dónde:

Td= espesor de diseño

D= 15 Cm (Diámetro interno del Tanque)

H=70 cm (Altura)

G= 0.0017gramos/cm³ (Se toma de la densidad calculada de los residuos sólidos orgánicos)

Sd=771gramos/cm² (Esfuerzo de diseño tomado del volumen de los RSO/ el espacio disponible en el interior del reactor)

C.A.=12 % (corrosión permisibles) [25]

Td=1.24X10⁻¹cm

5.1.3. DESCRIPCIÓN DEL CÁLCULO POTENCIA DEL MOTOR

Para el cálculo de potencia del agitador que sea capaz de mover la sustancia dentro del reactor, se debe calcular el número de Reynold y por medio de una curva característica se determina la potencia mostrada en la ilustracion 5:

Para calcular el número de Reynolds (*Ecuación 8*)[24,25] :

$$Nre = \frac{nDa^2\rho}{\mu} \quad [24,25](8)$$

Dónde:

Nre= número de Reynolds

Da=0.3280 pies (diámetro del rodeo)

n= 13.33 Rps (velocidad)

p= 239lb/pies³(densidad)

μ= 0.00054 lb/pies * segundo (Viscosidad) [30]

Nre= 6347,197

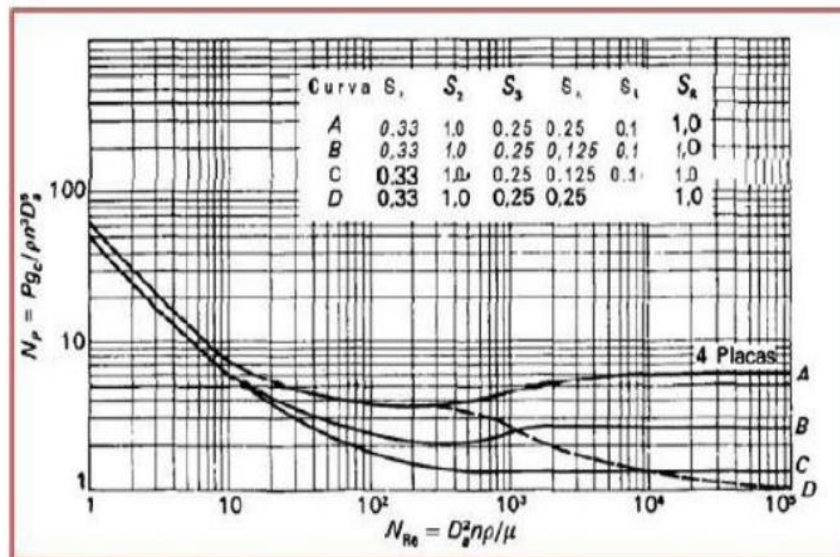


Ilustración 5 Curva Nro de Reynolds vs Nro de potencias.

$$P = \frac{N_p n^3 D a^5 \rho}{g c} \quad (9)$$

Dónde:

P= potencia

Da=0.3280 pies (diámetro del rodeo)

n= 13.33 Rps (velocidad)

p= 239lb/pies³ (densidad)

Np=1.4 (Numero de potencia tomado de la ilustración 5)

gc= 32.17 pies/s²

P=9314.52lb- pies/S

Hp=16.93

5.1.4.DESCRIPCIÓN DE LAS ASPAS

El control de las aspa fue dado por el sistema de control formulado para el motor mediante el control de velocidad y la fuerza necesaria para crear un compuesto homogéneo, obteniendo como resultado el diseño interno de 2 tipos de flujos dentro del reactor.

5.1.4.1. FLUJOS DENTRO DEL REACTOR

Los tipos de flujos que se producen en el reactor depende de las características del fluido, proporciones del tanque y sobre todo el diseño de las aspas de agitación, para este caso se tomó como referencia el diseño de las aspas del documento [24], tiene 3 palas inclinadas que permiten que tengan un flujo radial y flujo axial con la finalidad de obtener homogenización en todo el reactor, por medio del motor.

- Flujo Axial

Flujo axial permiten un flujo desprendido del rodete y presenta recirculación, esto quiere decir que el fluido realiza movimiento circulares que inician y terminan en el centro de las palas del agitador (la Figura 6).

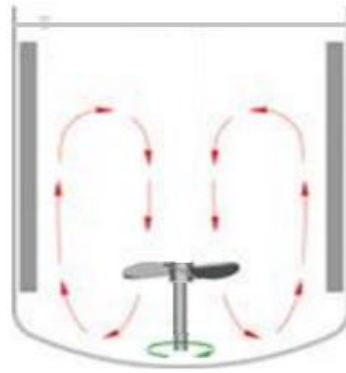


Figura 6. Agitador de flujo Axial

- Flujo radial

Los agitadores de flujo radial permite una alta velocidad tangencial aunque baja capacidad de impulso entre los componentes, esto quiere decir que es un movimiento envolvente en sentido horizontal (Figura 7).

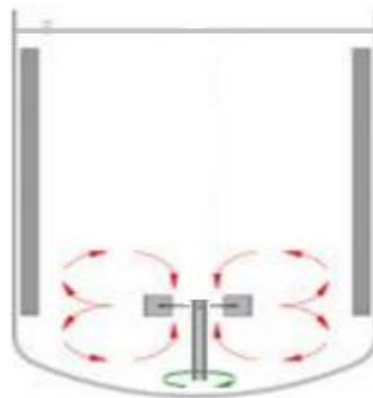


Figura 7. Agitador de flujo Radial

5.1.5.DESCRIPCIÓN DE TOLVAS

Se diseñaron en colaboración con el grupo de materiales semiconductores y energía solar 2 tolvas con una capacidad de $847,60 \text{ cm}^3$ cada una teniendo en consideración la relación $1\text{kg}/0,17\text{kg}$ entre el sustrato planteado y el óxido de calcio (CaO), en donde se almacenan sustancias buffer para el control del pH. (Ecuación 10).

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3} \quad (10)$$

Donde:

V= 846,60cm³ volumen tolva

H= 25 cm altura tolva

R superior=5,69 cm radio tolva

R inferior=2,54 cm radio tolva

$$v = \frac{\pi(5.69cm)^2 25cm}{3}$$

$$v = 847,60 \text{ cm}^3$$

En la foto 1 se observa la tolva:



Foto 1. tolva capacidad 850cm³

5.1.6.DESCRIPCIÓN DE LA TUBERÍA

Se determino las medidas para ahcer los cortes por parte del taller del laboratorio de fisica de la Universidad Nacional de Colombia,Se utilizó una tubería de acero inoxidable de 10 metros de largo con un diámetro de media pulgada dividido en

tres partes: dos partes de tres metros para las tolvas y la tercera parte para la conexión entre el bioreactor y el tanque de almacenamiento.

5.1.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CALEFACCION DEL BIOREACTOR

El montaje de la Termocupla tipo j se utiliza para sensar la temperatura del biodigestor, esta termocupla entra en contacto directo con los residuos sólidos orgánicos de tipo vegetal y las heces caninas. La termocupla tiene un radio de 6,1 mm y una longitud de 115 mm.

El intercambio de calor se hace mediante una resistencia en forma circular e incorpora un montaje de bafle en una sola intersección, permitiendo mayor eficacia en la distribución del calor mientras mantiene la geometría del reactor. Es importante que la termocupla se ubique a una altura de 50 mm debajo de la entrada de los sensores de pH y potencial de óxido reducción (ORP) del reactor, con el fin de quede lugar donde pueda sensar correctamente la temperatura y no interfiera con el movimiento del agitador. En la foto 2 se muestra la resistencia y la termocupla tipo j.

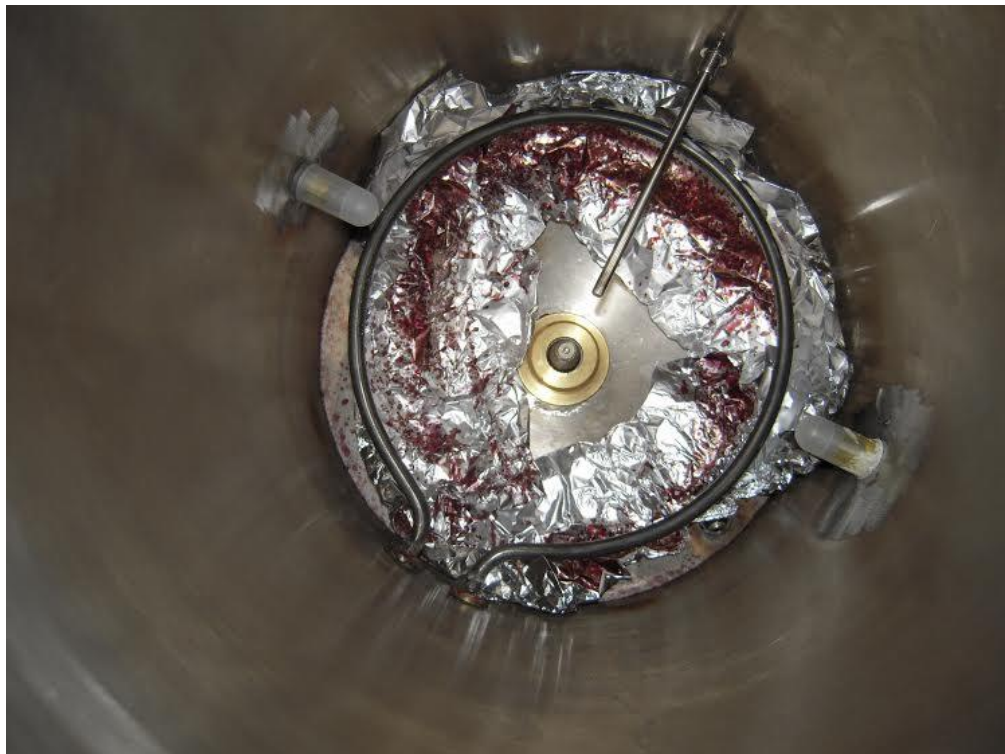


Foto 2. Sistema de calefaccion del reactor

5.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN DE BIOGÁS

Se construyó en colaboración con el grupo de materiales semiconductores y energía solar un sistema de filtros para el tratamiento del biogás, el cual es conducido a un envase de vidrio donde tendrá contacto con una solución de cal, con el fin de remover el anhídrido carbónico. Posteriormente, se conduce a través de un tubo de plástico que en el interior tiene limadura de hierro, con el propósito de eliminar el sulfuro de hidrógeno. Por último, pasa a través de cloruro de calcio para reducir el contenido de agua (ver el Diagrama 6).

Materiales:

- *Solución de cal*
- *Limadura de hierro*
- *Cloruro de calcio*
- *3 tubos de plástico de ½ pulgada*
- *2 frascos de compota con sus respectivas tapas.*

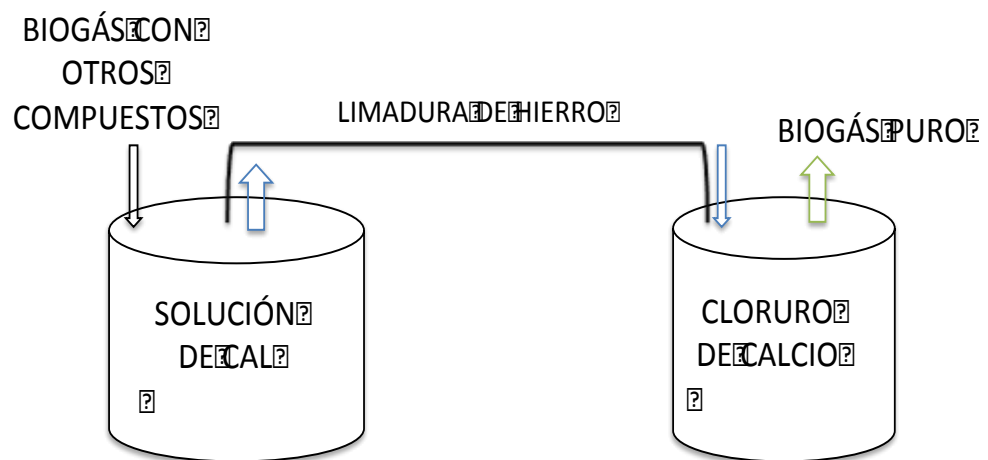


Diagrama 4. Purificación del biogás

5.3. ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Los sistemas de control en los biodigestores suelen tener un estándar en cuanto a las partes que éste debe tener para dar solución a los procesos, a continuación se menciona los sistemas que se identificaron en este trabajo de grado.

Unidad central: Es la encargada de analizar los datos recolectados por los sensores. Por lo general son utilizados los PLCs (controladores lógicos programables) que para este proyecto de grado fue DAQ-6008.

Sensores: Son los encargados de convertir las variables o condiciones físicas en señales eléctricas que puedan ser analizadas por la unidad central.

Dispositivos mecánicos: Así se llaman a los dispositivos encargados de nivelar las variables censadas.

Dispositivos de control: por medio de este bloque, el usuario le indica a la central las funciones que debe realizar cuando las variables están fuera de lo indicado o de los límites considerados como sanos para el desarrollo de la especie microbiana.

Indicadores: Son los encargados de mostrar al usuario los niveles de las variables censadas; además, esto pueden dar aviso si las condiciones adecuadas son sobrepasadas o se encuentran fuera de lo recomendado.

Fuente de alimentación: es la que proporciona la energía a todo el sistema para su correcto funcionamiento.

5.5. IDENTIFICACION DE PARÁMETROS A SER CONTROLADOS

Esta sección explica los parámetros de control para la operación del biodigestor anaerobio discontinuo por parte del programa LabVIEW.

5.5.1. SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS A SER CONTROLADOS

Teniendo en cuenta la relación entre la biomasa, el sustrato y las condiciones más favorables para que ocurra el proceso de digestión anaerobia, se seleccionaron cuatro parámetros a medir: pH, temperatura, potencial de óxido reducción (ORP), y presión, en la tabla 10 se muestra los criterios de selección de los parámetros [19, 20, y 22].

TABLA 10 CRITERIOS DE LA SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS.

Parámetros	Criterios
pH	Determina si el biodigestor se encuentra dentro de las condiciones más favorables para el crecimiento de las bacterias metanogénicas producen biogás en el rango 7,5 de pH, además de que esté tiene influencia directa en la actividad enzimática
Temperatura del Biodigestor	Se determinó a partir de información literaria encontrada en [11] que la temperatura más favorable para el desarrollo de las bacterias metanogénicas es 37 °C.

Potencial de óxido reducción	Mediante el potencial de redox se identifica en qué momento inicia cada fase del proceso de digestión anaerobia mediante la reducción interna del oxígeno.
Presión	Se determinó según la literatura [11] que mediante el Control de los intervalos de 1 a 1,5 atmosferas dentro del biodigestor, se asegura la producción de biogás.

5.6. PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La adquisición de datos o de señales, consiste en la toma de muestras de un entorno físico y transformarlas en señales eléctricas por medio de sensores para generar datos que puedan ser manipulados por un computador de manera que se puedan procesar en una computadora.

5.6.1. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL (PI) DEL PROCESO

Un control PI es un mecanismo que nos permite por medio de una realimentación que calcula el error entre un valor adquirido y el valor que se quiere obtener, para aplicar un ajuste el proceso, el algoritmo de cálculo se da en dos parámetros distintos: el proporcional, y el integral, para obtener el PI ideal para el bioreactor se recurrió al software Matlab y a su aplicación SISOTOOL, donde podemos escoger el tipo de sistema de control [24], como se muestra en la Figura 8.

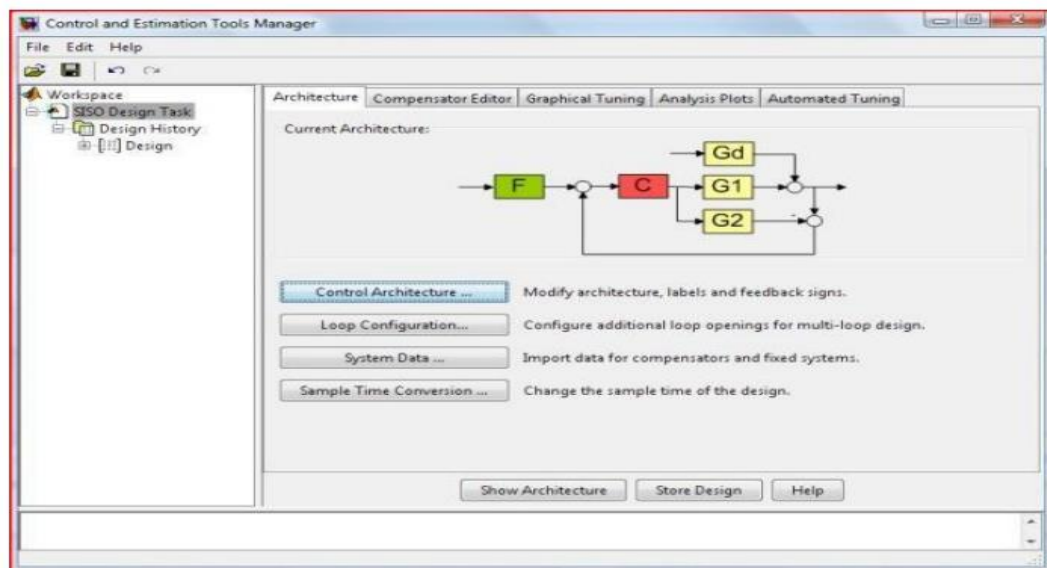


Figura 8 Aplicación de SISOTOOL de Matlab

Del resultado del SISTOOL tenemos un controlador PI calculado por el programa de forma teórica para el planteamiento del control electrónico, determinado a la respuesta de salida del sistema con su reacción a la función de paso, dio como resultado los siguientes valores para ser utilizada en el biodigestor:

$P= 125556$ (control proporcional)

$I=0.02$ (control integral)

$F=$ Pre filtró.

$C=$ Controlador.

$G_d=$ Función de transferencia de la planta.

$G_1=$ Función correctiva de la planta aceptada.

$G_2=$ Función correctiva de la planta denegada.

5.6.2. CONTROL Y MEDICIÓN DE PÁRAMETROS

Es importante controlar y medir los parámetros ya establecidos en el biodigestor anaerobio discontinuo para poder determinar si la operación y la adquisición de datos esta en correcto funcionamiento realizar para la rectificaciones del proceso. Si no se tiene una medición y control de los parámetros es imposible determinar si un biodigestor de este tipo está operando correctamente, para tal fin se emplearon equipos eléctricos que permiten una medición en tiempo real que son mencionados en la tabla 11.

Tabla 11 PARÁMETROS DE CONTROL DE LA SEÑAL DE SALIDA AL DAQ 6008.

PARÁMETROS	TIPOS DE SEÑALES Y SISTEMAS	TIPO DE VARIABLE	SISTEMAS EN LAZO
pH	Señal discreta en amplitud y tiempo la señal solo puede tomar valores predeterminados en un instante de tiempo	A CONTROLAR	Cerrado
Temperatura del Biodigestor		A CONTROLAR	Cerrado
Homogenización	Señales discretas en el tiempo solo tiene valor en instantes de tiempo predeterminados y aunque su amplitud pueda ser cualquier valor	A CONTROLAR	Abierto

	en el rango de los reales.		
Potencial de óxido reducción (ORP)	Señal discreta en amplitud y tiempo la señal solo puede tomar valores predeterminados en un instante de tiempo	DE CONTROL	Cerrado
Presión		DE CONTROL	Cerrado

5.6.3. CONTROL DE LOS PARÁMETROS MEDIANTE EL PROGRAMA DE DISEÑO LABVIEW

El software de control que se propuso fue el LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) de National Instruments, es un software con una plataforma gráfica que permite crear aplicaciones complejas de forma rápida y sencilla, esta plataforma está orientada al desarrollo y aplicaciones de control de instrumentos electrónicos, que se lo conoce como instrumento virtual por eso se guarda los ficheros con la extensión VI o conocido mejor como Virtual Instrument.

Cada VI contiene 2 partes principales, en el anexo 2 se muestra los diagramas correspondientes.

- Panel frontal, en el cual el usuario tiene directo contacto con la interacción con el VI (la Imagen 1)

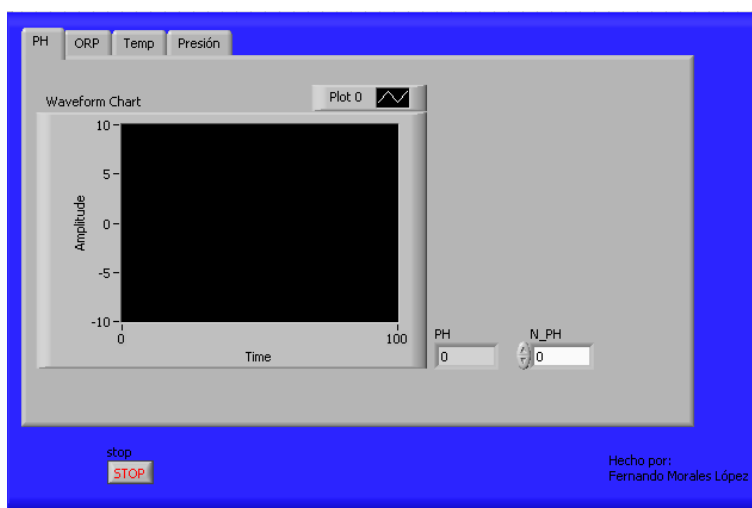


Imagen 1. Panel frontal

- Diagrama de bloque, se muestra el diagrama de bloque del programa el cual da el código de control (la Imagen 2).

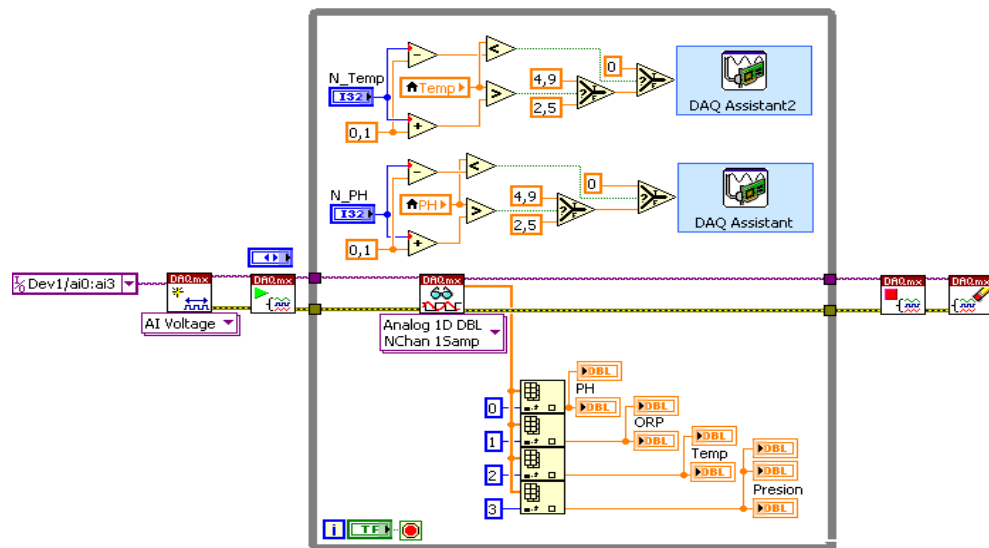


Imagen 2. Diagrama de bloque

5.7. PROGRAMACIÓN, INTEGRACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Detrás de la sencilla interfaz para el usuario, existe una programación que realiza paso a paso los análisis de todos los sensores, manejo de secuencias para dar puesta en marcha el motor, pulsos de inicio entre otros.

Una vez que se cargue el biodigestor se da inicio al motor y se activan las señales para activar la termocupla para medir la temperatura inicial del proceso y si es inferior a 35°C se enciende la resistencia y el sensor de pH inicia su funcionamiento, teniendo en cuenta que en este lapso no se toma ningún dato, el diagrama de bloque se muestra en la imagen 3, se hace mención que el diagrama de bloque de pH y temperatura son los sistemas a controlar mediante sistemas de lazo cerrado.

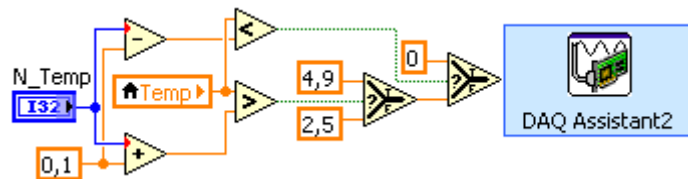


Imagen 3. Diagrama de Bloque Control Temperatura

Una vez establecido el motor con la velocidad nominal, se toman los datos de los sensores de presión y pH, además del punto de referencia que genera el control del proceso de digestión anaerobia, en la imagen 4 se puede observar el diagrama.

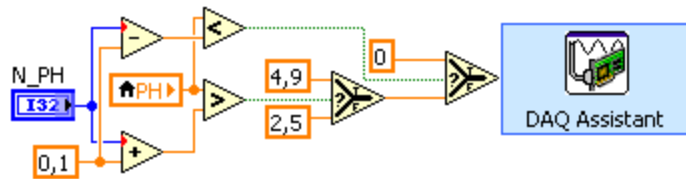


Imagen 4. Diagrama de Bloque Control pH

Cada señal analógica es muestreada a 100 kS/s, la imagen 5 es el resultado obtenido de una señal de vibración en el tiempo.

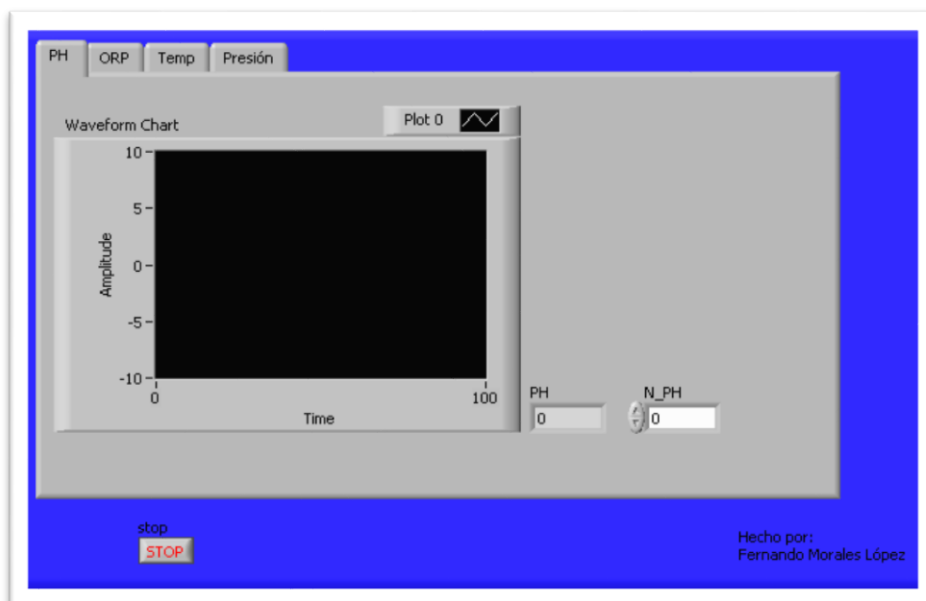


Imagen 5. Panel frontal de control

El resultado de este espectro se centra en saber cuál es el pico que corresponde al cambio del pH provocado por las biomasa en su proceso de biodegradación, este se encuentra en la frecuencia que genera la velocidad de control entre el sensor de pH y el correctivo por la sustancia buffer almacenada en la tolva, de la variable y para ello se realiza un filtro Butterworth paso bajo de orden siete, que elimina todas las frecuencias mayores a 8 Hz, Sin embargo el pulso de referencia también es analizado encontrando el periodo en segundos, y con esta información recolectada por el sistema reducir la velocidad en revoluciones por minuto, la frecuencia y el periodo para no perder la homogenización.

CAPITULO 6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. RESULTADOS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA Y DE LAS HECES CANINAS

Con el objetivo de estimar el coste (\$/KWH) del biogás se mantuvo una relación directa con los diferentes tipos de gas consumibles por la población colombiana, mediante el ensayo realizado se analizó el potencial energético de las heces caninas en relación al de los residuos orgánicos seleccionado dio como resultado 0,045 KWH, se determinó que el biodigestor puede producir al mes 1,9 m³ de biogás teniendo en cuenta la relación que se calculó anteriormente descripta en el documentó se tuvo como dato de referencia la capacidad máxima de producción 0,545 m³/kg de CH₄, lo equivalente a 143,64 KWH de producción total al mes, a continuación se muestra en la tabla 12 la relación PC/COSTO entre los diferentes gases de consumo doméstico.

TABLA 12 RELACION PODER CALORIFICO VS COSTO.

GASES DE USOS EN HOGARES	PODER CALORÍFICO(KWH/M ³)	COSTOS(\$/KWH)
Propano	12	\$144,7
Gas natural	12,91	\$88,86
Biomasa	5	\$40,63
Biogás calculado	15,2	0

6.2. RESULTADOS DEL DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA

El dimensionamiento geométrico de tolerancia del equipo permitió que biodigestor a escala laboratorio, hace posible el acople de infinidad de piezas y partes que posteriormente pueden ser perfectamente ensambladas, para formar un conjunto utilizable para el fin que ha sido diseñado, Permitiendo un fácil manejo de los productos generados como en la toma de muestras biológicas representativas para la identificación y el análisis de datos posterior.

6.3. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

En la programación del sistema de control se presentó la dificultad en la adquisición de señal por motivo que algunos equipos necesitaban driver para su funcionamiento, otros equipos tenían entradas de tipo RS 232 como el fielpoint-1000 que actualmente es difícil de conseguir y la señal es lenta con respecto a la respuesta del sistema de digestión anaerobia. La herramienta de diseño LabVIEW permitió la inter unión de varios sensores y equipos, para la medición del sistema permitiendo corregir los errores de una manera de control PI dando al usuario una lectura de las variables y parámetros de operación en tiempo real, como fue explicado su funcionamiento anteriormente solo se puede concluir que la herramienta LabVIEW disminuye los tiempo de obtención de muestras y permite un control preciso de los procesos biológicos.

CAPITULO 7 CONCLUSIONES

- Al terminar el análisis propuesto con la realización de este trabajo, lo primero que se debe concluir es que se tomó en consideración la información obtenida por parte del análisis realizado al sustratos para el planteamiento del equipo a partir de la norma ISO 10303, "*Industrial automation systems and integration*" se realizó el dimensionamiento geométrico de tolerancia ya que es imprescindible para el diseño y la construcción del mismo, así también para determinar el margen de error aceptable para su fabricación, buscando disminuir costos de operación y mejorando la calidad de producto final.
- Los residuos sólidos orgánicos y las heces caninas, son adecuadas para el proceso anaerobio por los cortos periodos de tiempo en la biodegradación y por su alta producción en las urbes actualmente, de esta manera obtenemos un beneficio social y ambiental por la disminución de residuos sólidos orgánicos que son transportados a los rellenos sanitarios.
- El montaje del bioreactor anaerobio discontinuo, permite el control de procesos biológicos mediante sistemas eléctricos, con esto se obtiene una disminución en costos de tratamiento de los residuos sólidos orgánicos y en el tiempo del tratamiento.
- El sistema planteado en este trabajo de grado no cuenta con la validación suficiente para evitar los errores humanos, por lo que se recomienda realizar la adecuación necesaria para que la captura de información por parte de los sensores no permita incluir un registro si este tiene un error y se debe plantear un protocolo para la operación de acuerdo al tipo de sustrato introducido al reactor.
- El biodigestor se construyó en acero inoxidable ya que garantiza las condiciones higiénicas, al ser muy sencillas las operaciones del lavado y desinfección del mismo; por otro lado, el acero inoxidable no transmite ni sabores ni olores extraños que puedan modificar o alterar los resultados.
- La utilización de tecnologías basadas en software de automatización y control de procesos, nos brinda facilidades en la adquisición de datos en periodos de tiempo controlados y nos brinda la posibilidad de controlar el proceso a cualquier hora y locación que se encuentre el operario.
- Se eligieron válvulas solenoides proporcionales, con capacidad nominal de 0 a $4,75 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, alimentadas por voltaje corriente directa de 0 a 20 mV, por debajo del costo mínimo; para su operación se construyó una fuente de energía como máximo $20V_{DC}$, que tras la amplificación de la señal proveniente del transmisor se obtiene un voltaje máximo de $19 V_{DC}$.

- La interface fue diseñada para ser amigable con el usuario, permitiéndole ver en tiempo real: temperatura, pH, potencial de óxido reducción (ORP) y presión. Para facilitar la obtención de datos experimentales en el equipo y obtener un beneficio con respecto al tiempo.
- Una de las razones por las cuales se eligió el acero inoxidable como material de construcción del bioreactor, fue la de poder observar los fenómenos que se presentan en el interior del reactor y que es un recurso fácil de obtener y de bajo costo frente a otros materiales.

CAPITULO 8 RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos durante el desarrollo de este proyecto, se pueden establecer las siguientes recomendaciones:

- Realizar un protocolo o un manual de operación del biodigestor para la obtención de biogás, biofertilizante, muestreo y análisis de resultados, para tener un conocimiento del funcionamiento del equipo y para determinar el comportamiento biológico en todas las fases de digestión anaerobia.
- Evaluar los usos de sistemas de procesamiento y análisis de imágenes, interacción con dispositivos convencionales e inalámbricos para la adquisición de datos y la modelación de sistemas.
- Se recomienda realizar una investigación o prueba para la caracterización química de las heces caninas, para una mayor exactitud entre la relación C/N es recomendable usar dentro de las heces el método de cenizas para la determinación del carbono, y de nitrógeno gel para la determinación del nitrógeno.
- Se recomienda para un mejor funcionamiento del reactor las heces caninas se deberán remojar con agua lluvia, se utiliza agua lluvia para no alterar a los microorganismos existentes antes de ser introducidas en el biodigestor, el cual estará lleno de la biomasa (residuos sólidos orgánicos) y agua, esta mezcla se debe mantener a una temperatura de 36 °C para el desarrollo de los microorganismos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agoramoorthy G, Hsu MJ. Biogas plants ease ecological stress in India's remote villages. *Hum Ecol* 2008; 36:435–41, doi: 10.1007/s10745-008-9163-8
- [2] Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, A. Tratamiento de residuos orgánicos y valorización agrícola. In Boixadera, J. y Teira, M.R. (Ed.) *Aplicación agrícola de residuos orgánicos*. Edicions de la Universitat de Lleida. ISBN: 84-8409-093-0. Pp 17-36. (2001).
- [3] DECRETO 1713 DE 2002. Artículo 1. Definiciones. Por el cual se Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Agosto 6 de 2002.
- [4] VDI-RICHTLINIEN-4630: Fermentation of organic material characterization of substrate, sampling collection of material data, fermentation tests, 92pp. Dusseldorf, 2006, Vig. 2006.
- [5] MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Política para la gestión de residuos. Santafé de Bogotá. Agosto 1997.
- [6] ACURIO, Guido. Diagnóstico de la situación de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washinton: Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana, 1997. s.p
- [7] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental. Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. Mayo 5. 2004. p. 3
- [8] KIELY, Gerard. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Vol.3. Madrid: McGraw Hill, 1999.
- [9] MARMOLEJO, R. En: Presentación Sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Colombia. Procuraduría delegada para asuntos agrarios. Cali, 2004, p.3
- [10] MEDINA, E. *Introducción a la ecofisiología vegetal*. Serie Biología, Monografía científica Nro. 16, OEA. 102 págs. 1977.
- [11] Bruce E. Rittmann.; Perry L. Mccarty .*Environmental biotechnology: principles and Applications*. 1a. ed. McGraw Hill. (2005).

- [12] SHARMA, S. K.; M. MISHRA; P. SHARMA & S. SAINI: "Effect of particle size on biogas generation from biomass residues", *Journal of Biomass*, 17:251–263, 1988.
- [13] Kiely G., *Ingeniería Ambiental Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Vol. 3; Ed.McGraw-Hill. 1999.
- [14] MEDINA, E. *Introducción a la ecofisiología vegetal*. Serie Biología, Monografía científica Nro. 16, OEA. 102 págs. 1977.
- [15] ORTUNECITYS. Los residuos sólidos. Ingeniería ambiental y medio ambiente. Noviembre de 2000.
- [16] Rozzi A., Modelling and control of anaerobic digestion process, *Trans. Inst. Matter. Chem.* 6 (3), 153–159. 1984.
- [17] JF Garcia-Mazcorro^a, Y Minamoto. Gastrointestinal microorganisms in cats and dogs: a brief review, *Gastrointestinal Laboratory, Department of Small Animal Clinical Sciences, Texas A&M University, Texas, USA*. (2013).
- [18] Marty, B. Microbiología de la digestión anaerobia. pp 72-85. Es: A.M. Bruce, A. Kouzeli-Katsiri y P. J. Newman. *La digestión anaerobia de lodos de depuradora y Residuos Agrícolas Orgánicos*. Elsevier. New York. 1984.
- [19] Angelidaki, I., Ellegaard, L., Ahring, B.K., A Comprehensive Model of Anaerobic Bioconversion of Complex Substrates to Biogas. *Biotechnology and Bioengineering* 63(3), 363–372. 1999.
- [20] LANE, A.G.: "Laboratory scale anaerobic digestion of fruit and vegetable solid waste". *Journal of Biomass*, 5: 245–249, 1984.
- [21] Schügerl K. *Bioreaction Engineering*, vol. 1, John Wiley & Sons, Chichester. (1987).
- [22] Mitsubishi Electronic. I/O Módulo Tipo de Edificio Block. Mitsubishi Electric Corporation. (2001).
- [23] Moreno J. Optimal time control of sequencing batch reactors for industrial wastewater treatment, *Conference on Decision and Control (CDC)*, San Diego, California, diciembre, 1997.
- [24] Donoso-Millingalli, B.D. y Ipiales-Pupiales, S.V. Diseño e Implementación De La Automatización De Un Reactor De Alta Presión, Escuela Politécnica Nacional.

(2009).

[25] Spanjers H., Vanrolleghem P., Olsson G. y Dold P. Respirometry in control of the activated sludge process. *Wat Sci. Tech.*, **34** (3-4): 117-126. (1996).

[26] Perera K.K, Rathnasiri P.G., Senarath S.A.S, Sugathapalas A.G.T, Bhattacharya S.C, Adbul Salam p., (2005) Assessment OF sustainable energy potencia of non- plantation biomass resources in sri Lanka. *Biomass and bioenergy* 29, pp 199-213.

[27] *Química para el nuevo Milenio- 8b: Edición*. Escrito por John William Hill, Doris K Kolb. Página 204. (books.google.es).

[28] Ministerio de salud publica Y asistencia social. Manual de procedimiento técnico de laboratorio clínico del primer nivel de atención. El salvador, C.A. agosto 2007. visto online :
http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/manual/Manual_procedimientos_lab_clinico.pdf

[29] Irene F. B, José Manuel V.R, M^a Isabel N.M, Estudio de Heces Y parásitos intestinales en el laboratorio. Visto 2014 online:
<http://publicacioneslaboratorio.files.wordpress.com/2012/10/estudio-de-heces-y-parc3a1sitos-intestinales-en-el-laboratorio.pdf>

[30] Andrea Marizad. V. C, Estudio y obtención de biodiesel a partir de residuos orgánicos. Universidad Tecnológica de Pereira. 2010.

[31] J.J. Feliu, V. Feliu, y C. Cerrada, Load Adaptive Control of Single-Link Flexible Arms Based on a New Modeling Technique. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. Vol. 15, nº5, octubre 1999, pgs. 793-804. No

[32] V. Feliu y K.S. Rattan, Feedforward Control of Single-Link Flexible Manipulators by Discrete Model Inversion. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. Vol. 121, diciembre 1999, pgs. 713-721. No

[33] I. de la Nuez y V. Feliu, On the Voltage Pulse-Width Modulation Control of L-C Filters. *IEEE Transactions on Circuits and Systems. Part I: Fundamental Theory and Applications*. Vol. 47, nº3, marzo 2000, pgs. 338-349. No

[34] G. Bueno, F. Heitz, JP Armspach 3D Segmentation of Anatomical Structures in MRIs on Large Data Bases *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Volumen: 19(1), Pgs.:73-81, 2001

- [35] G. Bueno, F. Heitz, JP Armspach 3D Segmentation of Anatomical Structures in MRIs on Large Data Bases Journal of Magnetic Resonance Imaging, Volumen: 19(1), Pgs.:73-81, 2001
- [36] E. González, V. Feliu, A. Adán. La valoración del reconocimiento simultáneo y de la actitud de 3D se opone usando los descriptores de Fourier. PUBLICACIÓN: 2do Conferencia ibérica sobre y el reconocimiento de patrón análisis de imagen (IbPRIA03), 2005, Estéril, Portugal.
- [37] Fernando Molina, Antonio Adán, Luís Morena, Andrés S. Vázquez. Característica 3D que sigue con un sistema ligero estructurado dinámico. Conferencia de IEEE sobre la visión de computadora y el reconocimiento de patrón, 2005, San Diego, CA, los E.E.U.U.
- [38] A. Durán, JM Monteagudo, I. Sanmartín, F. García-Peña, Photocatalytic degradation of pollutants from Elcogas IGCC Power station effluents P. Coca Journal of Hazardous Materials 144 (2007) 132-139
- [39] J.M. Monteagudo, A. Durán, I. Sanmartín y R.G. Schawb, Treatment of industrial wastewaters containing nickel using crandallite-type compounds Journal of Chemical Technology and Biotechnology Vol 81:262-267 (2006)
- [40] ILBER ADONAYT RUGE RUGE, Aplicación de los Algoritmos Genéticos para el diseño de un controlador adaptable PID Colombia, Tecnura ISSN: 0123-921X, 2010 vol:1 fasc: 25 págs: 83 - 90
- [41] ILBER ADONAYT RUGE RUGE, Desarrollo del ejercicio de vigilancia tecnológica en arreglos lógicos programables por campo FPGA Colombia, Revista Iteckne ISSN: 1692-1798, 2009 vol:6 fasc: 2 págs: 55 - 62
- [42] ILBER ADONAYT RUGE RUGE, Optimización de señal de control en reguladores PID con arquitectura antireset Wind-U Colombia, Tecnura ISSN: 0123-921X, 2011 vol:15 fasc: 30 págs: 24 - 31
- [43] ILBER ADONAYT RUGE RUGE, Diseño de un Regulador Adaptable basado en Algoritmos Genéticos Colombia, Revista Colombiana De Tecnologías De Avanzada ISSN: 1692-7257, 2005 vol:2 fasc: 6 págs: 13 - 19

Anexo 1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

MÉTODO DE ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

La caracterización se llevó a cabo en el laboratorio de microbiología en septiembre de 2013 a noviembre del 2013, por parte de un proyecto del Semillero de Economía Azul de la facultad de ingeniería ambiental

- Equipos utilizados para realizar la caracterización

1. Horno de secado (105° C)
2. Desecador de vidrio
3. Recipientes para muestras, con tapa
4. Balanza graduada (a 0,1 g).

- *Procedimiento:*

- Se calienta el horno a 105° C lo que permitirá remover elementos volátiles como amoníaco y líquidos.
- Se divide la muestra de 50 a 100 g de basura fresca.
- Se pone la muestra en los recipientes previamente pesados y numerados, y cubrir inmediatamente.
- Se saca y bota previamente todos los materiales inorgánicos como plásticos, gomas, vidrio, caucho, metales, cerámicas, piedras y otros que no absorban humedad.
- Se seca el material a peso constante, asegurándose de tener el recipiente destapado, una vez que esté en el horno.
- Se deja las muestras en el horno por 1 horas.
- Se enfría las muestras sobre una superficie seca o en un desecador de vidrio.
- Se pesa las muestras.

- *Cálculos utilizados*

$$\%humedad(base\ húmeda) = \frac{100 * perdida\ de\ peso}{peso\ húmedo\ seco}$$

Determinación de la densidad de los residuos sólidos orgánicos [11].

- Obtenido el peso por punto de generación (de igual manera al método anterior) se determina el volumen que ocupó los residuos sólidos pesados en el recipiente.
- Se obtiene la densidad de los residuos sólidos por punto de generación al dividir su peso en kilogramos entre el volumen del recipiente en metros cúbicos.

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen} \quad (11)$$

Dónde:

D = densidad de la residuos sólidos orgánicos (g/cm³)

P = peso de la residuos sólidos orgánicos (g)

V = volumen de la residuos sólidos orgánicos en el recipiente (cm³)

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO				
Numero de archivo:01		Nombre de la muestra: cascara de papa		
Peso de la muestra: 42 (Gr)		Números de muestras: 5 cada una con 42 gr		
Motivo: el contenido de nitrógeno en la papa permite mejorar el proceso “potencial de redox” y que este en los intervalos bibliográficos.				
Peso de muestras seco en unidades (gramos)				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
12,5	12,7	13	12,5	12,4
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
29	29,5	29,1	30,3	29,2

Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
48	6,4	37	2,6	0,4	Se puede despreciar
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					
$BF = 0,83 - 0,28LC$ BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV) 0,83=Constata Empírica. 0,028= Constante Empírica. LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].					
Resultado de BF :0,718					

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO	
Numero de archivo:02	Nombre de la muestra: cascara de banano
Peso de la muestra : 157,5 (gr)	Números de muestras: 5 cada una con 157.5 gr
Peso de muestras seco en unidades(gramos)	

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
47,5	47	46	45	47	
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
110	111	110	110	109	
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
48	6,4	37,6	2,6	0,4	No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					
$BF = 0,83 - 0,28LC$					
BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV)					
0,83=Constate Empírica.					
0,028= Constante Empírica.					
LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].					
Resultado de BF : 0,718					

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO

Numero de archivo:03		Nombre de la muestra: cascara de plátano			
Peso de la muestra: 73,5 (gr)			Números de muestras : 5 cada una con 73,5 gr		
Peso de muestras seco en unidades(gr)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
22	21	22	23	22	
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
51	52	52	52	51	
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
48	6,4	37,6	2,6	0,4	No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					
$BF = 0,83 - 0,28LC$ BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV) 0,83=Constate Empírica. 0,028= Constante Empírica. LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].					

Resultado de BF : 0,718

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO					
Numero de archivo:04		Nombre de la muestra: corazón de manzana			
Peso de la muestra : 63 (gr)			Números de muestras: 5 cada una con 63 gr		
Peso de muestras seco en unidades(gramos)					
Muestra 1 18,5	Muestra 2 19	Muestra 3 18,4	Muestra 4 18,7	Muestra 5 18,5	
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)					
Muestra 1 44	Muestra 2 44	Muestra 3 44	Muestra 4 44	Muestra 5 44	
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1 0,24	Muestra 2 0,24	Muestra 3 0,24	Muestra 4 0,24	Muestra 5 0,24	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
48	6,4	37,6	2,6	0,4	No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					

$BF = 0,83 - 0,28LC$	
BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV)	
0,83=Constate Empírica.	
0,028= Constante Empírica.	
LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].	
Resultado de BF : 0,718	

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO					
Numero de archivo:05		Nombre de la muestra: cascara de Melón			
Peso de la muestra : 63 (gr)			Números de muestras : 5 cada una con 63 gr		
Peso de muestras seco en unidades(gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
22	21	22	23	22	
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
52	52	53	52	53	
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas

48	6,4	37,6	2,6	0,4	No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					
$BF = 0,83 - 0,28LC$ BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV) 0,83=Constate Empírica. 0,028= Constante Empírica. LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].					
Resultado de BF : 0,718					

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO				
Numero de archivo:06		Nombre de la muestra: cascara de Papaya		
Peso de la muestra : 105 (gr)			Números de muestras: 5 cada una con 105 gr	
Peso de muestras seco en unidades(gramos)				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
32	32	33	32	31
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5

74	75	73	73	73
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)				
Muestra 1 0,14	Muestra 2 0,14	Muestra 3 0,14	Muestra 4 0,14	Muestra 5 0,14
Composición de la muestra fue tomada de [26]				
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre
48	6,4	37,6	2,6	0,4
				No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos				
$BF = 0,83 - 0,28LC$ BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV) 0,83=Constate Empírica. 0,028= Constante Empírica. LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].				
Resultado de BF : 0,718				

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO	
Numero de archivo:07	Nombre de la muestra: corazón de Pera
Peso de la muestra : 73,5 (gr)	Números de muestras: 5 cada una con 73,5 gr
Peso de muestras seco en unidades(gramos)	

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
22	23	22	23	23	
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
52	52	52	51	53	
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
48	6,4	37,6	2,6	0,4	No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					
$BF = 0,83 - 0,28LC$ BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV) 0,83=Constate Empírica. 0,028= Constante Empírica. LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].					
Resultado de BF : 0,718					

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA EL BIODIGESTOR ANAEROBIO DISCONTINUO
--

Numero de archivo:08		Nombre de la muestra: cascara de Mango			
Peso de la muestra : 52,5 (gr)			Números de muestras: 5 cada una con 52,5 gr		
Peso de muestras seco en unidades(gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
16	17	15	15	16	
Peso de la muestra humedad en unidades (gramos)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
36	37	38	37	36	
Calculo de la densidad de la muestra en unidades($\frac{cm^3}{gr}$)					
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	
0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
Composición de la muestra fue tomada de [26]					
Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
48	6,4	37,6	2,6	0,4	No se tomó en cuenta por falta equipo
Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos					
$BF = 0,83 - 0,28LC$					
BF= Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles(SV)					
0,83=Constate Empírica.					
0,028= Constante Empírica.					
LC= contenido de lignina de los sólidos volátiles (SV) expresado como un porcentaje en peso seco [11].					

Resultado de BF : 0,718

ESTRUCTURACIÓN DE UN BIORREACTOR DE PRUEBA.

Debido a las dificultades mencionadas con anterioridad se vio la necesidad de implementar un bioreactor de prueba. Se realizó un ensayo en el laboratorio de microbiología de la Universidad Santo Tomas se realizó un ensayo a la biomasa monitorearon los parámetros de pH y la homogenización.

Se utilizó un biodigestor plástico con una capacidad de 3 litros con calefacción mediante una manguera externa de agua caliente con un largo de 10 cm y 3 ml de grosor, se mantuvo encendido por 6 horas mientras era permitido su funcionamiento en el laboratorio y mediante una capa de icopor, donde se mantuvo una temperatura constante durante la noche. Para el ensayo se cargó el biodigestor con 1 kilogramo (heces de caninas, residuos orgánicos y residuos de jardín), se adicionó agua de lluvia a los residuos sólidos orgánicos para generar el medio para el desarrollo microbiano [27, 26, 30,33].Se cerró el tanque para dar inicio al proceso de biodigestión anaerobia; las bacterias anaeróbicas inician el proceso descomponiendo la materia orgánica transformándola en metano y dióxido de carbono.

Este proceso físico-químico fue más complejo de lo determinado según la literatura, tardo 3 semanas más de lo planteado, se hizo ver la dependencia total de los factores como la temperatura, el pH y el tipo de materia orgánica (frutas y verduras). En la foto 3 se puede observar los residuos sólidos con la adición del agua, se obtuvo al final del proceso 849.59gramos en lodo activado, se muestra la ilustración 6.



Foto 3. RSO Mezclados

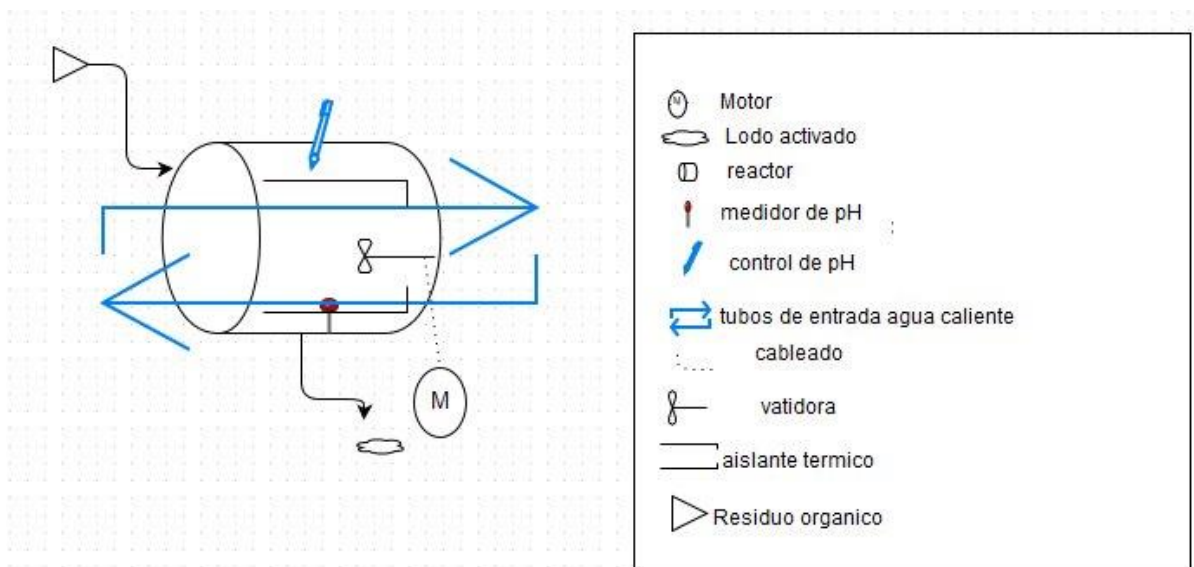
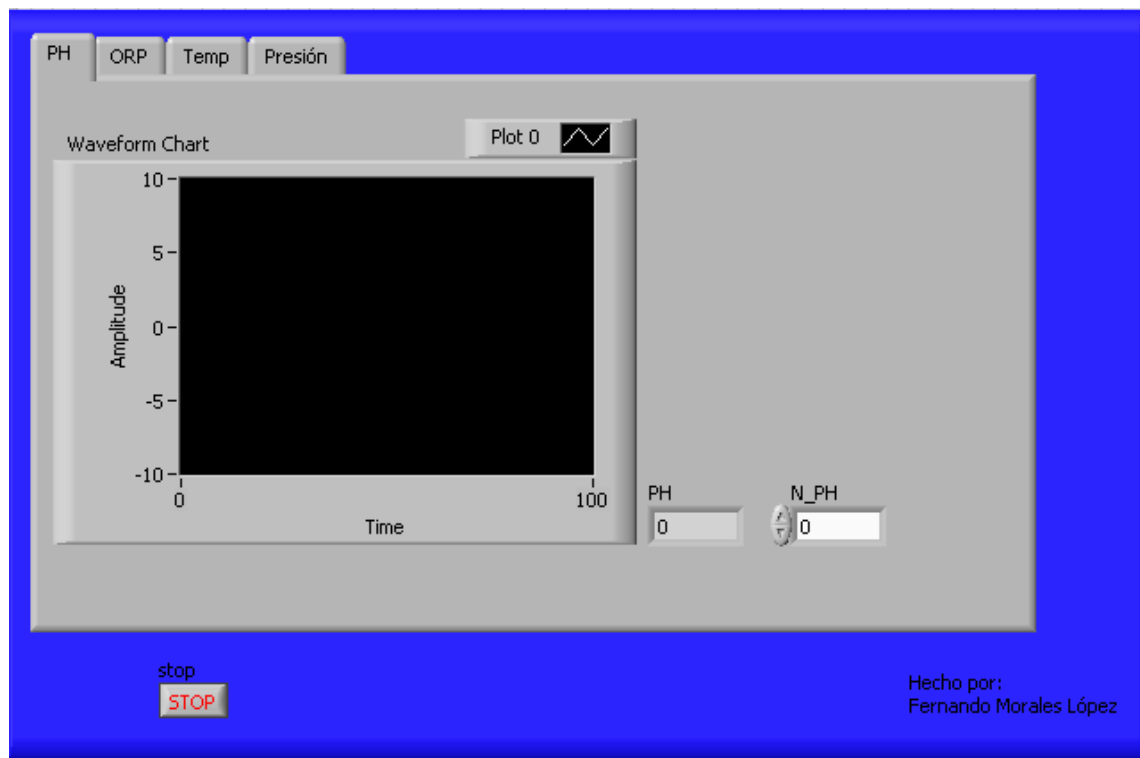


Ilustración 6 reactor del ensayo



Foto 4. Bioreactor de ensayo

Anexo 2 DIAGRAMA EN LABVIEW DE AUTOMATIZACIÓN DE SENSORES



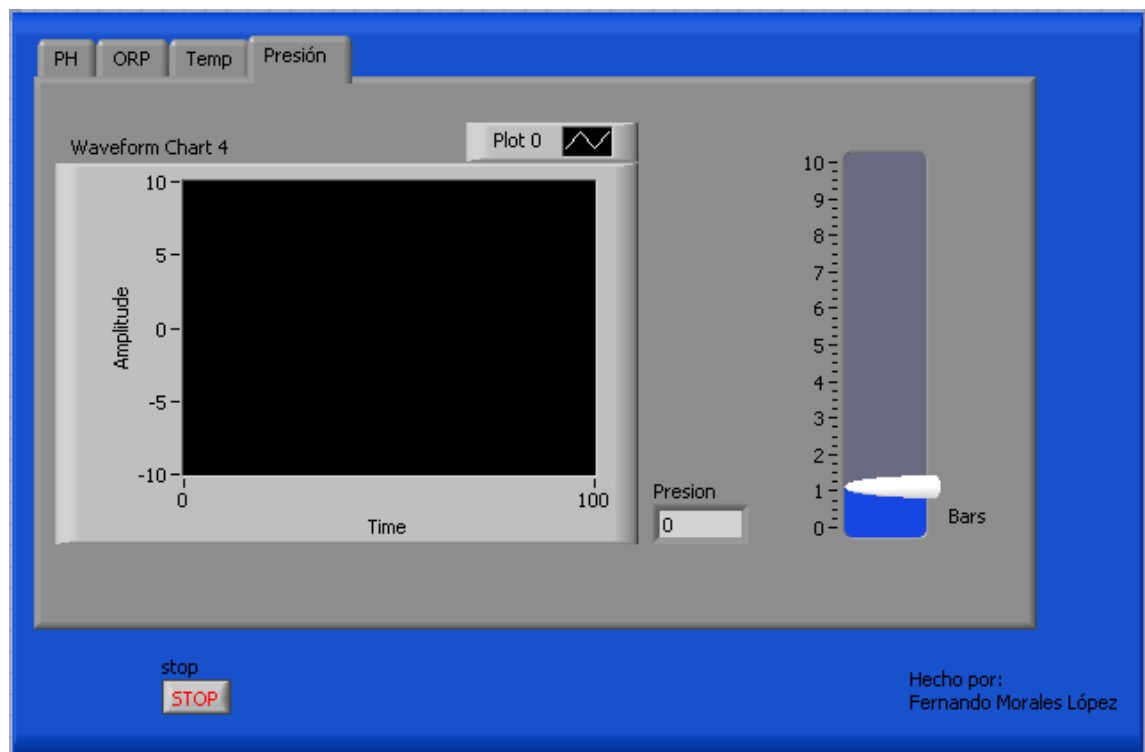
Panel Frontal de pH



Panel Frontal de ORP



Panel Frontal de Temperatura



Panel Frontal de Presión

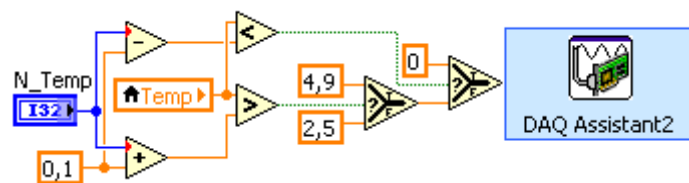


Diagrama de Bloque Control Temperatura

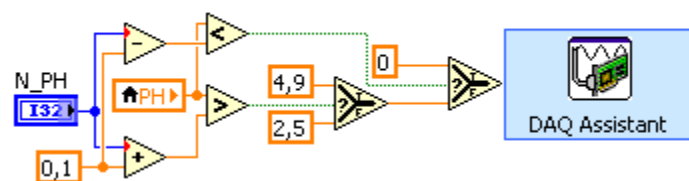


Diagrama de Bloque Control pH

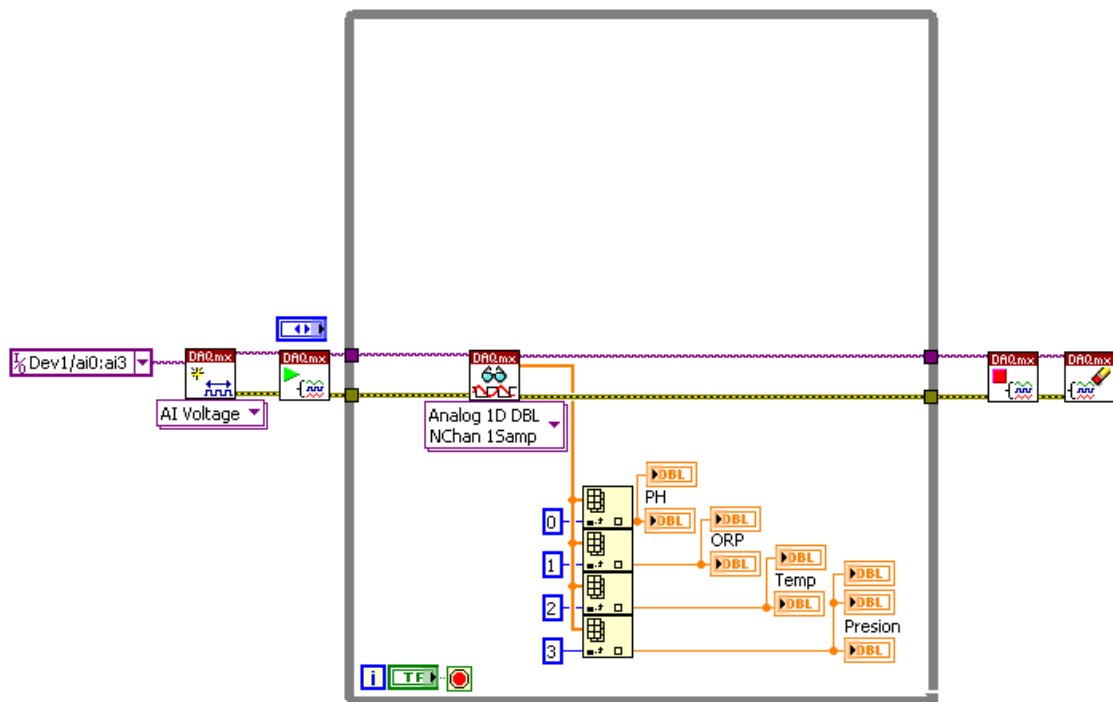


Diagrama de Bloque Lectura de Datos

Anexo 3 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL BIODIGESTOR

A continuación en la tabla de anexo 3 se muestran los equipos instalados en el reactor.

NOMBRE	INDICADOR QUE SALEN EN EL DIAGRAMA	COMPAÑÍA QUE LO FABRICA	FOTOS DE LOS EQUIPOS
MOTOR	M	Taller Universidad Nacional	
Transductor	ORPT	Hanna Modelo BL 932700-0 ORP HANNA	
Transductor	PHT	Hanna Modelo BL 931700-1PH HANNA	
TRANSMISOR DE PRESIÓN e indicador de presión	PT Y PI	Hanna SSR 15A 4- 32VDC 240 VAC UL HONGFA	
RÉLE CONVERTIDOR	RLY	Taller Universidad Nacional	

TRANSMISOR DE TEMPERATURA	TT Y	NI MODELO FP-TC-120	
MEDIDOR DE TEMPERATURA	TY	termocupla tipo j	

NOMBRE	INDICADOR QUE SALEN EN EL DIAGRAMA	COMPAÑÍA QUE LO FABRICA	FOTOS DE LOS EQUIPOS
CELDA DE CARGA	WT	Nose encontró referencia 15 kg	
VÁLVULA DE CONTROL DE PESO	WCD	Hanna VALVULA SELOINAL	
CONTROL DE EQUIPO	NIUSB	NIUSB-6008	
TRANSMISOR DE ORP	ORPT	Hanna ELECTRODOS COMBINADOS DE ORP DE PLANTINO HANNA	

TRANSMISOR DE Ph	PHT	Hanna HI 1001	
CONTROL DE TEMEPRATURA	NI FIELPOINT	NI FP-1000	

NOMBRE	INDICADOR QUE SALEN EN EL DIAGRAMA	COMPAÑÍA QUE LO FABRICA	FOTOS DE LOS EQUIPOS
Bioreactor	BIO	Taller	
Tapa del reactor	TR	Taller Universidad Nacional	

Tolvas del reactor	TV	Taller Universidad Nacional	
Resistencia	R"1	Marca	
Check de paso	cv	Libre	

Tabla anexo 3 Equipos utilizados en el biodigestor

Anexo 4 PLANO E ILUSTRACIONES DEL BIOREACTOR ANAEROBIO DISCONTINUO

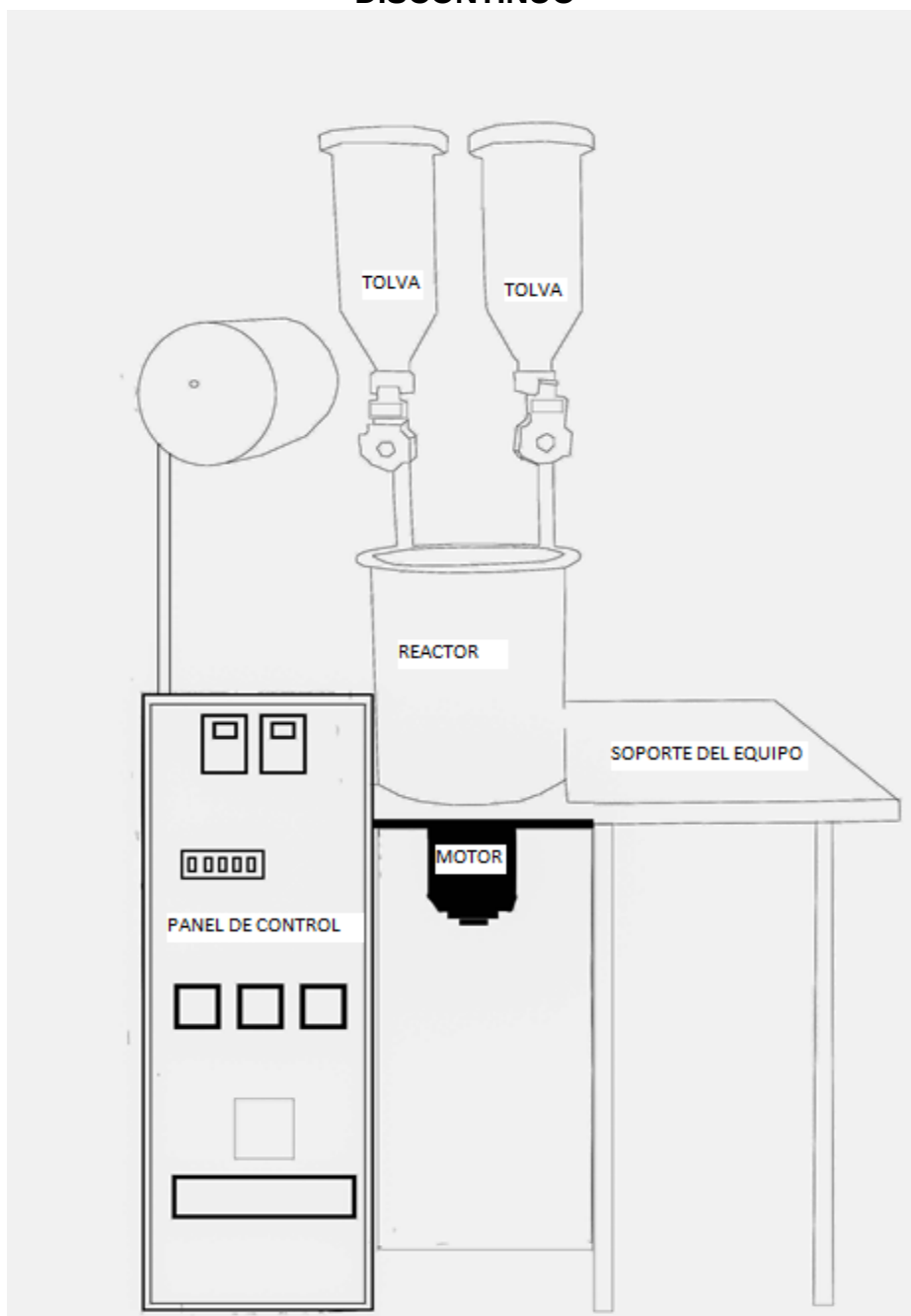


Ilustración 1. Biodigestor, Autor.

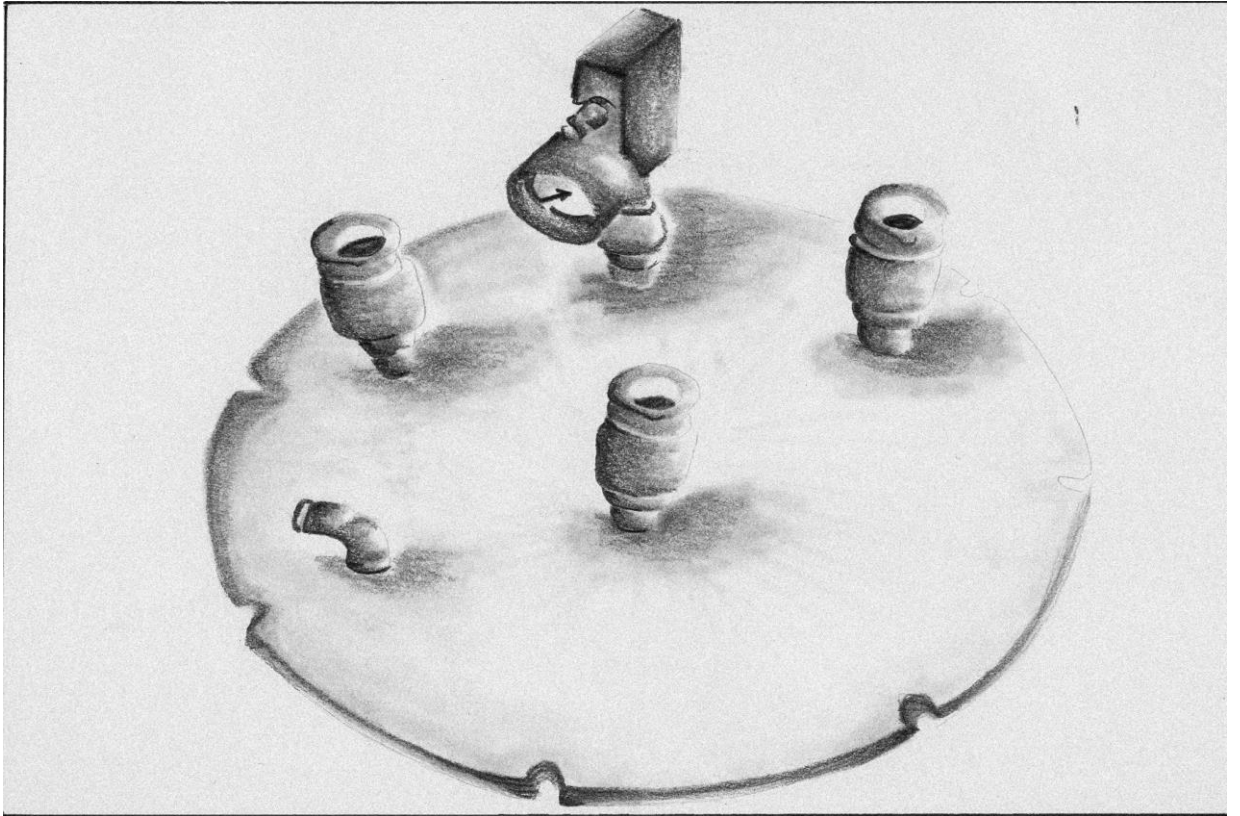


Ilustración 2. Tapa del Biodigestor, Autor.

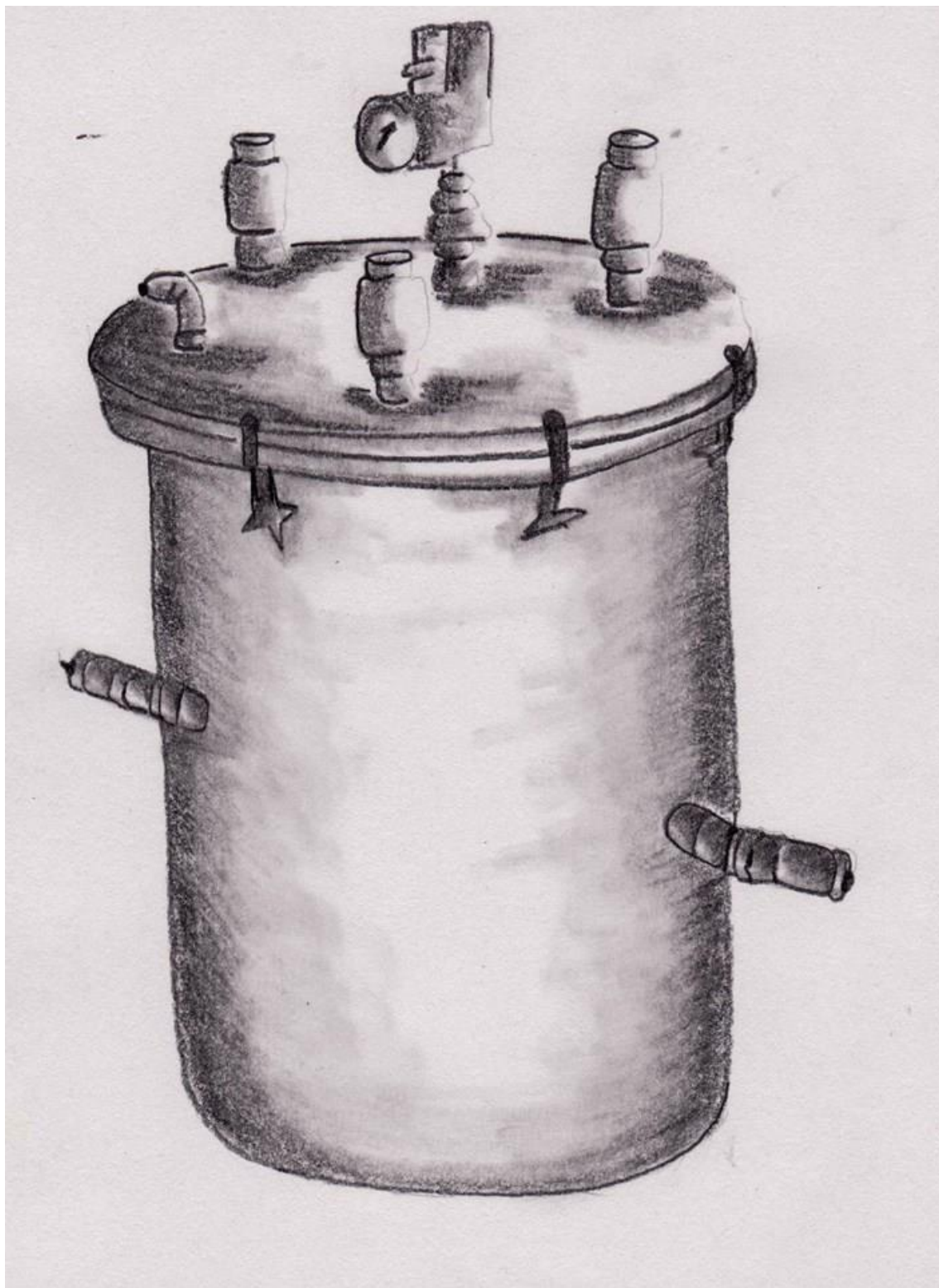


Ilustración 3.Reactor, Autor.

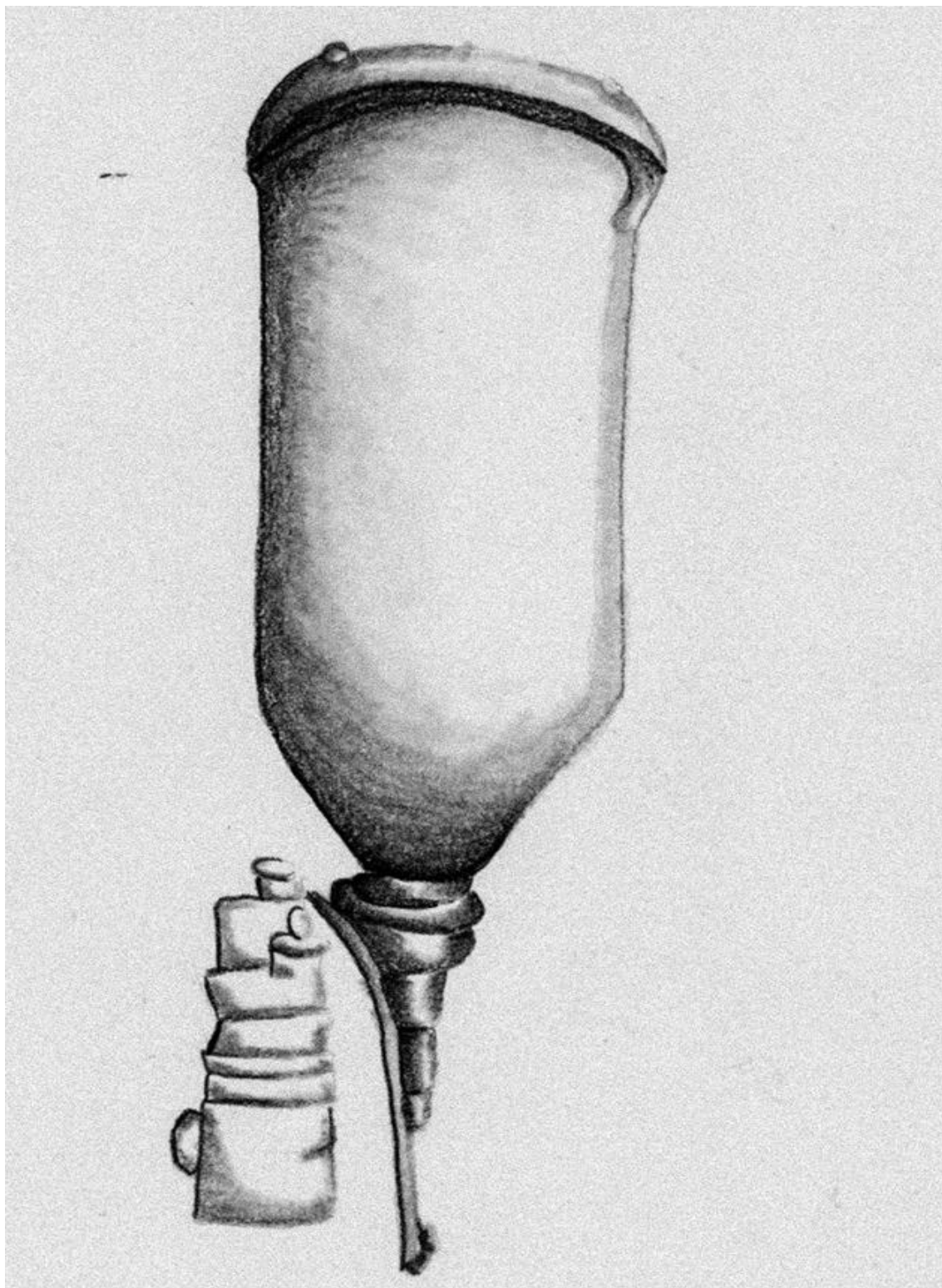


Ilustración 4. Tolva, Autor.