



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR CON SISTEMA
AUTOMÁTICO PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA FINCA
TANGUARÍN DE LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE IBARRA**

AUTOR:

ALVARO FABRICIO FUENTES LÓPEZ

DIRECTOR:

Ing. MIGUEL JAMI Msc.

Ibarra – Ecuador

Abril 2012

DECLARACIÓN

Yo, ALVARO FABRICIO FUENTES LÓPEZ, declaro que el trabajo aquí descrito es de mí autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y certifico la veracidad de las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Alvaro Fabricio Fuentes López

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Grado “Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automático para generación de biogás en la finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra”, presentado por el señor Alvaro Fabricio Fuentes López, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ing. Miguel Jami Msc

DIRECTOR

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100292864-4
APELLIDOS Y NOMBRES:	ALVARO FABRICIO FUENTES LÓPEZ
DIRECCIÓN:	EZEQUIEL RIVADENEIRA 9-27 SAN ANTONIO DE IBARRA
E-MAIL:	alvarofuentes.utn@gmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	093825583

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR CON SISTEMA AUTOMÁTICO PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA FINCA TANGUARÍN DE LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE IBARRA
AUTOR:	ALVARO FABRICIO FUENTES LÓPEZ
FECHA:	2012/04/09
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
DIRECTOR:	ING. MIGUEL JAMI

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Alvaro Fabricio Fuentes López, con cédula de identidad Nro. 100292864-4, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Alvaro Fabricio Fuentes López, con cédula de identidad Nro. 100292864-4, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículos 4,5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado “Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automático para generación de biogás en la finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra”, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

(Firma) _____

Nombre: Alvaro Fabricio Fuentes López

Cédula: 100292864-4

Ibarra, a los 09 días del mes de Abril de 2012

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanas, por brindarme el apoyo constante en miras de alcanzar mis metas.

Especial reconocimiento al Ing. Miguel Jami por su apoyo y guía en el desarrollo del presente trabajo.

A la Universidad Técnica del Norte, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, y de manera especial al personal docente quienes me ilustraron con sus conocimientos, siempre útiles en la vida profesional.

A todos los amigos y amigas que influyeron de manera directa o indirecta en la elaboración del proyecto.

Alvaro F.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fuerza de inspiración en la realización de objetivos.

Con infinito amor a mis padres y hermanas que con su apoyo incondicional y ejemplo, han sido un pilar fundamental en mi formación personal y el cumplimiento de sueños y objetivos profesionales.

Alvaro F.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
Portada	i
Declaración.....	ii
Certificación	iii
Autorización de uso y publicación a favor de la UTN	iiiiv
Cesión de derechos de autor del trabajo de grado a favor de la UTN.....	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Indice General	viii
Indice de figuras, cuadros, gráficos y ecuaciones.....	xiv
Lista de siglas.....	xix
Resumen	xx
Summary	xxi
Presentación.....	xxii
CAPÍTULO I ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	1
1.1. Introducción	1
1.2. Análisis de la situación del sector energético y problemática.....	2
1.2.1. Historia.....	2
1.2.2. La Energía en el mundo y latinoamérica	2
1.2.3. La Energía en el Ecuador.....	4
1.2.4. Análisis del marco regulatorio y la matriz energética en Ecuador.....	6
1.3. Planteamiento del Problema	9
1.4. Objetivos de la Investigación	10
1.4.1. Objetivo General.....	10
1.4.2. Objetivos Específicos	10
1.5. Justificación	10
1.6. Alcance.....	11

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Introducción	12
2.2. Energía	12
2.2.1. Definición de energía.....	12
2.2.2. Formas de energía	12
2.2.3. Clasificación de las fuentes de energía	13
2.3. Energías renovables	14
2.3.1. Las energías renovables frente a la situación energética actual	14
2.3.2. Ventajas de las energías renovables	15
2.3.3. Las energías renovables y el sector rural	16
2.3.4. Fuentes de energía renovable	17
2.4. La Biomasa y métodos de conversión de energía	18
2.4.1. Generalidades	18
2.4.2. Concepto de la biomasa.....	19
2.4.3. Ventajas de la biomasa	19
2.4.4. Origen y clasificación de la biomasa.....	20
2.4.5. Utilización de la biomasa y métodos de conversión de energía	21
2.5. Biodigestión	21
2.5.1. Biogás y tipos de biodegradación del sustrato	21
2.5.2. Biodigestión Anaeróbica y sus etapas	22
2.5.3. Factores que influyen en la digestión anaeróbica	24
2.5.4. Productos resultates de la biodigestión	30
2.6. Biodigestores.....	33
2.6.1. Biodigestores de acuerdo al sistema de carga.....	33
2.6.2. Biodigestores de acuerdo a la dirección del flujo	36
2.6.3. Consideraciones para el diseño del biodigestor	37
2.7. Sistema de control.....	39
2.7.1. Elementos de un sistema de control.....	39
2.8. Electrónica.....	41

2.8.1.	Electrónica analógica	41
2.8.2.	Electrónica digital.....	41
2.8.3.	Microcontrolador	41
2.8.4.	Sensores.....	45
2.8.5.	Actuadores.....	48
CAPÍTULO III DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN		49
3.1.	Introducción	49
3.2.	Criterios de selección de la zona de aplicación.....	49
3.3.	Parámetros de diseño del sistema.....	50
3.3.1	Volumen de carga.....	51
3.3.2	Volumen del biodigestor	51
3.3.3.	Tiempo de retención.....	52
3.3.4.	Volumen del depósito de biogás	52
3.3.5.	Velocidad de carga.....	52
3.4.	Variables de producción de biogás.....	52
3.4.1.	Materia orgánica disponible	52
3.4.2.	Potencial de producción de gas metano (P_{CH_4})	53
3.4.3.	Sólidos totales (ST)	53
3.4.4.	Contenido de sólidos volátiles (SV)	53
3.4.5.	Volumen de gas metano producido (V_{CH_4}).....	55
3.5.	Cálculo del volumen de producción de biogás.....	56
3.5.1.	Peso total de los animales (W_A).....	56
3.5.2.	Sólidos totales (TS)	56
3.5.3.	Sólidos volátiles (SV).....	57
3.5.4.	Volumen de biogás.....	57
3.6.	Diseño de los componentes del sistema	59
3.6.1.	Elementos del sistema de biodigestión.....	59
3.6.2.	Volumen del biodigestor (V_D).....	60

3.6.3.	Presión atmosférica al interior del biodigestor	61
3.6.4.	Volumen y dimensionamiento del depósito de almacenamiento de biogás	64
3.6.5.	Volumen de los tanques de carga y descarga de material.....	67
3.6.6.	Tubería de carga y descarga de material	69
3.6.7.	Tubería de salida de biogás	71
3.6.8.	Válvula de alivio.....	72
3.7.	Diseño del sistema de control.....	73
3.7.1.	Descripción del sistema de control	73
3.7.2.	Microcontrolador, funciones y características.....	75
3.7.3.	Diagramas de flujo para el programa del microcontrolador.....	79
3.7.4.	Fuente principal de alimentación de energía para el sistema	86
3.7.5.	Fuente de alimentación alternativa de energía para el sistema.....	86
3.7.6.	Módulo de control del tanque de agua y nivel de los tanques de biodigestión y descarga	87
3.7.7.	Módulo de control del biodigestor	91
3.7.8.	Control del depósito de almacenamiento de biogás.....	94
3.7.9.	Tablero de control y visualización del proceso	101
3.8.	Selección del lugar de instalación y construcción de la cubierta de protección externa del sistema.....	102
3.8.1.	Consideraciones tomadas en cuenta para la instalación	102
3.8.2.	Características de lugar seleccionado en la finca	103
3.9.	Instalación del sistema de biodigestión	104
3.9.1.	Descripción	104
3.9.2.	Tanque de agua.....	105
3.9.3.	Tanques de carga y descarga.....	105
3.9.4.	Tanque de biodigestión	106
3.9.5.	Depósito de almacenamiento de biogás.....	107
3.9.6.	Tuberías y accesorios del sistema.....	107
3.10.	Instalación del sistema de control.....	108
3.11.	Sistema completo de biodigestión implementado	109

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	111
4.1. Introducción	111
4.2. Procedimiento experimental	111
4.2.1. Selección de la fuente de materia orgánica a ser ingresada al biodigestor.....	111
4.2.2. Recolección del estiércol.....	112
4.2.3. Carga del sustrato al biodigestor	113
4.3. Pruebas realizadas.....	114
4.4. Resultados obtenidos.....	115
4.4.1. Temperatura del sustrato	115
4.4.2. Presencia de gas metano.....	116
4.4.3. Presión.....	118
4.4.4. Volumen de producción diaria de biogás.....	118
4.5. Impactos del proyecto en los ejes de la sustentabilidad	120
CAPÍTULO V ANÁLISIS ECONÓMICO.....	121
5.1. Introducción	121
5.2. Análisis de la rentabilidad del biogás.....	121
5.3. Proyección de ingresos.....	122
5.4. Costos del proyecto.....	124
5.4.1. Costos directos	125
5.4.2. Costos indirectos	127
5.4.3. Costo total.....	127
5.5. Análisis de los costos de implementación	128
5.5.1. Clasificación de costos	129
5.5.2. Proyección de costos	130
5.5.3. Depreciación de equipos.....	130
5.6. Flujo de caja	131
5.7. Evaluación	134
5.7.1. Tasa de descuento	134

5.7.2. Valor Actual Neto (V.A.N.).....	135
5.7.3. Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.).....	136
5.7.4. Relación Beneficio/Costo	136
5.7.5. Período de recuperación de capital	138
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
6.1. Conclusiones.....	139
6.2. Recomendaciones.....	140
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	146
Anexo 1 Características de los biodigestores tradicionales y criterios para el desarrollo del biodigestor propuesto	147
Anexo 2 Características del tanque de polietileno	149
Anexo 3 Características del polietileno y sus propiedades	151
Anexo 4 Plano de construcción del sistema completo de biodigestión	154
Anexo 5 Datos obtenidos de las pruebas realizadas al sistema y producción de biogás ...	157
Anexo 6 Código fuente del microcontrolador.....	162
Anexo 7 PCB del dispositivo de control del tanque de agua y nivel de los tanques de digestión y descarga.....	169
Anexo 8 PCB del dispositivo de control del biodigestor	171

ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS, GRÁFICOS Y ECUACIONES

FIGURAS

1. Biodigestor de flujo discontinuo.....	34
2. Biodigestores tipo Hindú (domo móvil)	35
3. Biodigestor de domo fijo.....	35
4. Biodigestor de flujo horizontal	36
5. Biodigestor completamente mezclado.....	37
6. Incremento de la presión con aumento de la profundidad	38
7. Distribución de la presión en las paredes del biodigestor	38
8. Microcontrolador gama baja.....	43
9. Microcontrolador gama media	43
10. Microcontrolador gama alta	43
11. Tanque y dimensiones del biodigestor	64
12. Dimensiones del depósito del biogás diseñado.....	67
13. Tanque de carga y dimensiones	69
14. Dimensionamiento de las tuberías de carga y descarga del sustrato (m)	70
15. Tubería de entrada y salida de material	72
16. Acoples para la tubería de salida de gas del biodigestor.....	72
17. Tubería de salida de gas.....	73
18. Ubicación de las válvulas de seguridad y control del biogás	74
19. Diagrama del microcontrolador 16F877A	77
20. Sensores de nivel y temperatura	89
21. Válvula de agua para ingreso y drenaje de agua.....	90
22. Circuito de control del tanque de agua.....	91
23. Sensores y actuadores implementados al tanque de agua	91
24. Sensores de nivel y temperatura utilizados	93
25. Motor Craftman para el sistema de agitado.....	94
26. Agitador implementado en el sistema.....	95
27. Sensores y actuadores implementados al tanque digestor.....	95
28. Sensores de Gas metano, Temperatura y Presión.....	96
29. Estructura y circuito básico del Sensor MQ-4.....	98
30. Salida [V] vs. Presión [Kpa].....	100

31. Sensores del depósito de almacenamiento de biogás.....	101
32. Circuito de control del biodigestor y depósito de biogás.....	101
33. Tablero de control del sistema	103
34. Área seleccionada en la finca y preparación del suelo	104
35. Cubierta externa para la protección del sistema.....	105
36. Instalación del tanque de agua.....	106
37. Instalación de los tanques de carga y descarga.....	107
38. Instalación del tanque de biodigestión.....	107
39. Depósito de almacenamiento de biogás.....	108
40. Instalación de tuberías y accesorios.....	109
41. Instalación del sistema de control	110
42. Sistema completo de biodigestión implementado.....	111
43. Fuente de la materia orgánica.....	113
44. Recolección de estiércol	113
45. Carga del sustrato al biodigestor	114
46. Pruebas de funcionamiento del sistema.....	115

TABLAS

1. Potencial energético por fuente de energía en Ecuador.....	5
2. Sistemas de transformación entre diferentes formas de energía.....	14
3. Porcentaje de los gases presentes en el biogás.....	23
4. Producción específica de biogás de los residuos orgánicos.....	25
5. Producción de estiércol por especie.....	26
6. Rangos de temperaturas para la generación de biogás	27
7. Tiempo de retención y materia prima	29
8. Producción de gas en relación con el tiempo de retención.....	29
9. Efectos del pH en la biodigestión	30
10. Criterios para la selección de un sensor.....	48
11. Tipos de actuadores.....	49
12. Potencial de producción de gas metano (P_{CH_4}) de algunos residuos.....	54
13. Características de la materia orgánica utilizada en la biodigestión anaeróbica	55
14. Estimación en la producción de metano para diferentes TR y T.....	59
15. Descripción de los periféricos del microcontrolador PIC 16F877.....	78

16. Variables y sensores para el control del tanque de agua	89
17. Variables y sensores para el control del biodigestor.....	93
18. Variables y sensores para el control del depósito de biogás	96
19. Condiciones de trabajo estándar	97
20. Condiciones ambientales	97
21. Características de sensibilidad del sensor MQ-4.....	98
22. Características de sensibilidad del sensor MPX4115	99
23. Impactos de la energía de biogás de acuerdo a los ejes de la sustentabilidad	120
24. Proyección de ingresos	124
25. Costos directos	126
26. Costos indirectos.....	127
27. Costo total del proyecto.....	127
28. Análisis de costos del proyecto	129
29. Clasificación de costos.....	129
30. Proyección de costos	130
31. Depreciación de equipos.....	131
32. Flujo de caja.....	133
33. Tasa de descuento.....	134
34. Indicadores de rentabilidad financiera	137

GRÁFICOS

1. Demanda de energía 2008 en América Latina y el Caribe.....	4
2. Oferta de energía primaria en Ecuador, 1970 y 2006	8
3. Consumo de energía por sectores en Ecuador, 1980 y 2006	8
4. Estado inicial al 2007 y resultados esperados al 2020 de la matriz energética.....	9
5. Variación de temperatura en el interior del biodigestor	116
6. Variación de la resistencia de sensibilización Rs en el biogás.....	117
7. Presencia de gas metano [ppm]	118
8. Variación de la presión [Kpa]	119
9. Volumen de producción de biogás [m ³ biogás/día]	119

DIAGRAMAS

1. Fuentes de energía	15
-----------------------------	----

2. Origen de la biomasa	21
3. Procesos de la conversión de la biomasa en energía.....	22
4. Etapas de la digestión anaeróbica.....	24
5. Diagrama de bloques de un sistema de control.....	40
6. Sistema de control en lazo abierto	40
7. Sistema de control en lazo cerrado	41
8. Estructura general de un microcontrolador.....	42
9. Características de actuación de un sensor.....	46
10. Tipos de sensores.....	47
11. Diagrama de bloques del sistema de control completo.....	75
12. Diagrama general del proceso de obtención del biogás	83
13. Diagrama de flujo del programa para el control del tanque de agua.....	81
14. Diagrama de flujo para el control de nivel del biodigestor y tanque de descarga de material	82
15. Diagrama de flujo para el control de la temperatura del sustrato en el biodigestor ...	83
16. Diagrama de flujo para el control de la presencia de gas metano.....	84
17. Diagrama de flujo para el control de la presión del biogás.....	85

ECUACIONES

1. Cálculo de la carga volumétrica del sustrato	28
2. Cálculo de la máxima presión	38
3. Volumen de Metano producido.....	56
4. Descomposición de sólidos volátiles en el tiempo	56
5. Crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura.....	56
6. Peso total de los animales (W_A)	57
7. Sólidos totales (ST)	57
8. Sólidos volátiles (SV)	58
9. Volumen de CO_2 en el sustrato.....	60
10. Volumen de biogás.....	60
11. Volumen del biodigestor.....	61
12. Presión atmosférica.....	63
13. Altura del sustrato en el biodigestor	63
14. Volumen del depósito de biogás.....	65

15. Diámetro del depósito de biogás	66
16. Volumen de un cilindro.....	66
17. Área de un cilindro	66
18. Longitud del depósito de biogás.....	66
19. Volumen del tanque de carga.....	68
20. Longitud de las tuberías de carga y descarga de sustrato.....	71
21. Resistencia de sensibilidad del sensor MQ-4	99
22. Potencia de sensibilidad del sensor MQ-4.....	99
23. Presión del sensor MPX4115	100
24. Tasa de rendimiento medio	134
25. Valor Actual Neto	135
26. Tasa Interna de Rentabilidad	136
27. Relación Beneficio / Costo	137

LISTA DE SIGLAS

ASAE:	American Society of Agricultural Engineers
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CONELEC:	Consejo Nacional de Electricidad
DENA:	Deutsche Energie Agentur (Agencia Alemana de Energía)
EIA:	U.S. Energy Information Administration
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
MEER:	Ministerio de Electricidad y Energías Renovables
NN.UU.:	Naciones Unidas
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PVC:	Policloruro de vinilo
SIGAGRO:	Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria.
SIISE:	Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador
SRI:	Servicio de Rentas Internas
UTN:	Universidad Técnica del Norte
WWF:	World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR CON SISTEMA AUTOMÁTICO
PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN LA FINCA TANGUARÍN DE LA PARROQUIA
SAN ANTONIO DE IBARRA**

Autor: Alvaro Fuentes

Tutor: Ing. Miguel Jami Msc.

RESUMEN

El trabajo que se detalla a continuación, se fundamenta en el principio de energía renovable y la necesidad de proponer una solución alternativa a los problemas de contaminación ambiental en Ecuador. Este proyecto promueve el adecuado manejo de los recursos naturales en la generación de energía por fuentes renovables, incluyendo la tecnología aplicada a los procesos de producción, así como contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y a la conservación de los recursos naturales.

El objetivo de este trabajo de investigación es diseñar y construir de un biodigestor con sistema de control automático para la generación de gas natural a partir de materia orgánica. El biogás resultante se utiliza como combustible natural para la preparación de alimentos o calefacción en viviendas del sector rural. El sistema de biodigestión consta de dos subsistemas: los componentes mecánicos y el sistema electrónico para el monitoreo y control del proceso de producción de biogás. El sistema de control evalúa continuamente un fallo o problema a través de la información obtenida por los sensores que miden presión, temperatura, nivel de sustrato, presencia de gas metano, así como otros parámetros. Este envía una respuesta inmediata a los actuadores y si es necesario una corrección para estabilizar la producción. La incorporación del sistema de control automático ha mejorado el proceso y la producción deseada de biogás en óptimas condiciones.

La tecnología de biogás no ha sido desarrollada todavía en Ecuador. Es por eso que ese trabajo representa una idea inicial que contribuiría a la política energética en Ecuador y a la incorporación de este tipo de energía en el sistema nacional.

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BIODIGESTER WITH AN AUTOMATIC
SISTEM FOR THE GENERATION OF BIOGAS FOR THE FARM TANGUARIN FROM
SAN ANTONIO DE IBARRA'S TOWN**

Author: Alvaro Fuentes

Tutor: Ing. Miguel Jami

SUMMARY

The work described below is based on the principle of renewable energy and the need to propose an alternative solution to the pollution problems in Ecuador. This project promotes the proper management of natural resources on power generation by renewable sources including the applied technology to production processes, as well as contributes to improving the quality of life of people and the conservation of the natural resources.

This project aims to design and to construct a biodigestor with an automatic control system for the generation of natural gas from organic matter. The biogas produced is used as biofuel for the preparation of food or heating in homes of rural sector. The biodigestion system consists of two subsystems: the mechanical components and the electronic system for monitoring and controlling the process of biogas production. The control system continuously evaluates a fault or problem through the obtained information from sensors that measure the pressure, temperature, substrate level, presence of methane gas, as well as other parameters. It sends an immediate response to the actuators and if necessary a correction to stabilize the production. The incorporation of an automatic control system has improved the process and the desired biogas production under optimal conditions.

The biogas technology has not yet been developed in Ecuador. Therefore this work represents an initial idea that contributes to the energy policy in Ecuador and the incorporation of this kind of energy in the national power system.

PRESENTACIÓN

El proyecto del biodigestor con sistema de control automático para la generación de biogás a partir de materia orgánica para la finca Tanguarín de la parroquia de San Antonio de Ibarra, está estructurado en seis capítulos: Análisis de la situación actual del sector energético con enfoque a la producción de energías renovables, conceptos generales y aspectos intervinientes en el proceso de biodigestión, diseño del sistema, análisis de resultados, análisis económico, conclusiones y recomendaciones.

En el primer capítulo se realiza el análisis de la problemática de la situación actual referente a la contaminación ambiental, cambio climático y la necesidad de generación de energía a partir de fuentes renovables; así como los objetivos de la investigación, el alcance, justificación del proyecto.

El segundo capítulo describe el fundamento teórico y la información utilizada en la elaboración del proyecto.

El tercer capítulo presenta el diseño tanto del sistema de biodigestión, como del sistema de control, detallando los parámetros utilizados y requerimientos necesarios para el funcionamiento.

En el cuarto capítulo se analiza los resultados obtenidos de la implementación del sistema de control al sistema de biodigestión, en la producción de biogás y productos derivados.

En el quinto capítulo se realiza un estudio económico, para lo cual se calculan los costos y gastos intervinientes en la construcción del sistema, para establecer la rentabilidad del proyecto y expectativas futuras.

En el sexto capítulo, se detallan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más evidentes que ha existido durante años y que enfrenta la humanidad es la degradación del medio ambiente, hecho que se produce por el uso excesivo e irracional de los recursos naturales. Esto ha generado problemas graves como la contaminación por CO₂, y demás gases de efecto invernadero que perjudican notablemente al nivel y calidad de vida de la población.

En la actualidad, el aumento en los niveles de gases con efecto invernadero ha creado un terror generalizado de que el uso de la energía está poniendo en peligro el medio ambiente de la tierra y las emisiones son un foco importante de debates sobre políticas nacionales e internacionales, como es el llamado Protocolo de Kyoto en 1997, tratado en el cuál los países se comprometen a reducir sus emisiones de CO₂ en un nivel inferior en no menos del 5% al de 1990, en un período comprendido entre el 2008 y 2012 (NN.UU.:1998). En el año 2010 en la Conferencia de las partes COP15, denominada del Cambio Climático, se intentó renovar los compromisos hacia el cumplimiento del protocolo de Kyoto, pero no tuvo tal efecto debido a intereses políticos particulares. El futuro de los combustibles fósiles depende crucialmente de la regulación futura de los gases de efecto invernadero (Spiegel: 2010).

La forma en que hemos usado la energía en el pasado es inadecuada para el futuro, de ahí nace la idea de producir energías amigables con el ambiente a través de un manejo adecuado de los recursos naturales, basado en el concepto de sustentabilidad: “El Desarrollo Sustentable satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (Informe Nuestro Futuro Común NN.UU., 1987).

1.2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO Y PROBLEMÁTICA

1.2.1. HISTORIA¹

Los primeros seres humanos utilizaron la energía de las plantas para producir fuego y calentar sus sitios de vivienda, cocinar y forjar sus herramientas y armas. La fuerza de los animales fue utilizada como medio de transporte, para las tareas de carga o fuerza motriz y para los grandes ejércitos. Las primeras civilizaciones utilizaron la energía del viento y la fuerza del agua. La energía del sol se utilizaba para secar los granos e indirectamente calentar los hogares. El carbón fue ya empleado por los chinos miles de años antes de Cristo. Los griegos conocían sobre las fuerzas de magnetismo y la electricidad.

El requerimiento energético durante la revolución industrial fue satisfecho inicialmente mediante la quema de la madera y posteriormente con el carbón. El gas sirvió como combustible para iluminación y calefacción desde fines del siglo XVIII, mientras que el uso del petróleo se inició efectivamente tras la invención del motor de combustión interna. El siglo XX trajo consigo una revolución energética y la aplicación de todo tipo de fuentes de energía para los más distintos usos. La invención del generador eléctrico para la producción de electricidad y su aplicación en los motores eléctricos y las redes eléctricas de distribución marcó el inicio de la era moderna. Y en la actualidad a inicios del siglo XXI se habla acerca de la búsqueda y aplicación de nuevas fuentes de energía que puedan reemplazar a los combustibles fósiles y que sean más amigables con el medioambiente.

1.2.2. LA ENERGÍA EN EL MUNDO Y LATINOAMÉRICA

El uso mundial de energía de todo tipo se ha incrementando a una tasa promedio anual de 2,6% desde la década de 1960 (Spiegel: 2010); a inicios de la denominada

¹ Recopilación de datos históricos de diferentes autores y publicaciones

revolución industrial, hasta la actualidad en que se ha generado un desarrollo en el cual los recursos se usan indiscriminadamente, llegando a sobrepasar la capacidad de regeneración del uso de estos recursos por parte del planeta, siendo el límite máximo de 1,8 ha/anuales hablando en términos de la huella ecológica (WWF: 2008)

De acuerdo a la Administración de Información sobre Energía del gobierno de EE.UU. la demanda mundial de energía habrá experimentado un crecimiento neto de 57% al año 2030, tomando como base el año 2004; presentándose la mayoría de los incrementos en los combustibles fósiles, carbón y gas natural. De igual manera la demanda de carbón, aportó con un 29% de la demanda mundial de energía en el año 2007.

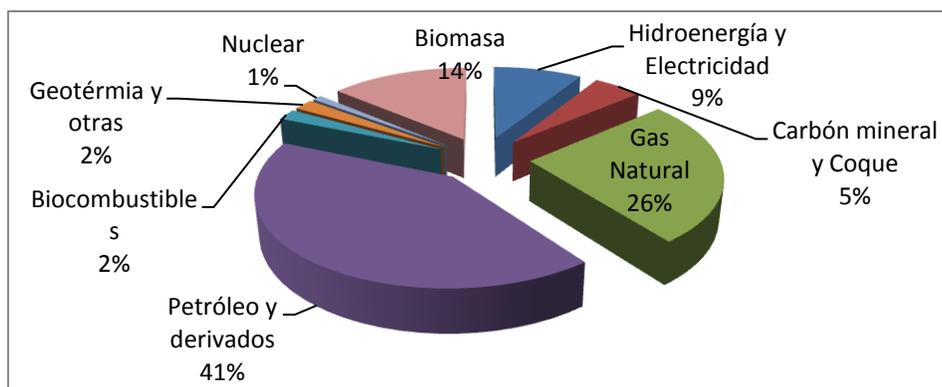
Según el Informe de estadísticas Energéticas 2009 (OLADE): “El año 2008 ha sido un marco en la economía mundial debido a la profundización y acelerada globalización de la crisis económica del sistema financiero internacional originada en los Estados Unidos de América. Sus efectos en América Latina y el Caribe, según datos de la CEPAL, ya fueron sentidos - aunque no muy notablemente - desde fines del 2008. Se destaca, por ejemplo, una desaceleración en los niveles de crecimiento del PIB por habitante (de 4,3% en 2006 y 2007 a 3,3% en 2008), que se ha reflejado también en un comportamiento similar en el indicador de Consumo Final de Energía por habitante informado por OLADE, cuyo crecimiento se redujo de niveles del orden de 3% anual (entre 2005 y 2007), a sólo 1,9% entre 2007 a 2008”².

Según Insulza (2008): “El debate de la energía en América Latina depende de tres premisas básicas y comunes. La primera es que la energía es una preocupación central de todos los países del mundo, independientemente de su tamaño o importancia en los asuntos mundiales. La segunda es que la energía es un componente esencial del desarrollo. La tercera es que también ha habido una fuerte relación entre la energía y la política, especialmente el petróleo y la política”.

A nivel de Latinoamérica, la demanda de Energía para el año 2008 según la OLADE, se presenta en el siguiente gráfico:

² OLADE (2009): Organización Latinoamericana de Energía. Informe de Estadísticas Energéticas.

Gráfico 1. Demanda de energía 2008 en América Latina y el Caribe



Fuente: Informe de Estadísticas Energéticas 2009. OLADE.

Según el informe de la FAO Oferta y demanda de energía: tendencias y perspectivas (2008), se espera que la demanda de energía aumente considerablemente en los próximos años a causa de crecimiento demográfico y el desarrollo económico (EIA, 2007).

1.2.3. LA ENERGÍA EN EL ECUADOR

En el año 2009, según datos de la OLADE para Ecuador, el consumo final de energía en todas sus formas fue de 75,73 Millones de barriles equivalentes de petróleo (MBEP), dando como resultado un incremento del 59% con respecto al consumo en el año 2001. Esto representa un consumo de 5,56 BEP/Habitante por año. Este índice se ha utilizado tradicionalmente para determinar el nivel de desarrollo de los países, pues se supone que un mayor consumo por habitante implica un mayor grado de desarrollo industrial (WWF: 2003).

El desarrollo económico e industrial en la última década, ha dado lugar a un incremento de las emisiones totales de CO₂ a nivel de país, para lo cual se establece como referencia los mismos años 1999 y 2008, observando un incremento del 79,66%.

En el año 2009, las reservas probadas de petróleo en el Ecuador fueron de 6,332.98 MBEP, y la producción fue de 506.904 barriles por día, con lo cual según la WWF se estima que el Ecuador dispondría de 24 años más de este recurso.

El potencial energético del Ecuador proveniente de fuentes de energías renovables convencionales (hidroelectricidad) y no convencionales, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Potencial energético por fuente de energía en el Ecuador

Fuente	Energía GWh/año
Hidroelectricidad	103.000
Solar	1.100
Eólica	545
Geotermia	4.700
Biomasa	
Plantaciones forestales	820
Residuos vegetales	
- Con combustión directa	4.300
- Con Biogás	2.155
Desechos municipales	
- Con combustión directa	3.966
- Con Biogás	1.249
- Residuos animales	3.300
TOTAL	938.156

Fuente: Plan Nacional de electrificación 2002/11 y WWF 2003

Según un estudio realizado en el año 2009³, se manifiesta: “Ecuador, a pesar de ser un país productor de petróleo, es energéticamente dependiente, especialmente a lo que energía eléctrica se refiere. De hecho, durante los últimos meses de 2009 y primeros de 2010, el país ha sufrido cortes en el suministro eléctrico y racionamientos en diferentes zonas del país. Esta crisis eléctrica es debida fundamentalmente a que el país está sufriendo uno de los estiajes más duros en décadas, de forma que los caudales afluentes a las centrales hidroeléctricas

³ Proyecto TECH4CDM Tecnologías Renovables y Eficiencia Energética en América Latina. La Electrificación Rural en el Ecuador. 2009. Financiado por la Unión Europea.

registran unos valores críticos, afectando severamente a la producción eléctrica de las centrales. Otro factor a considerar es que en el país no se ha invertido en temas de generación eléctrica en los últimos 20 años”.

1.2.4. ANÁLISIS DEL MARCO REGULATORIO Y LA MATRIZ ENERGÉTICA EN ECUADOR

Dada la situación actual del sector de producción de energía en el Ecuador se ha establecido una política energética, a través de la incorporación de una nueva matriz energética, vinculada a diferentes procesos. Actualmente el 43% de energía eléctrica se produce a partir de energía hidráulica, y se plantea el incremento del 80% de hidroelectricidad para el año 2020. De la misma manera la estrategia menciona también la reducción en el consumo de energía per cápita, a través de la utilización de equipos más eficientes y con menor consumo energético.

Ecuador en los últimos años ha tenido, importantes cambios a nivel legislativo y regulatorio, por mencionar en el año 2008, la aprobación de una nueva Constitución. En algunos de sus enunciados, se menciona:

Art. 15.- *“El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”* (Cap. II, DBV - Ambiente Sano).

Art. 413.- *“El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”* (Sección VII, Biosfera, ecología urbana y energías alternativas).

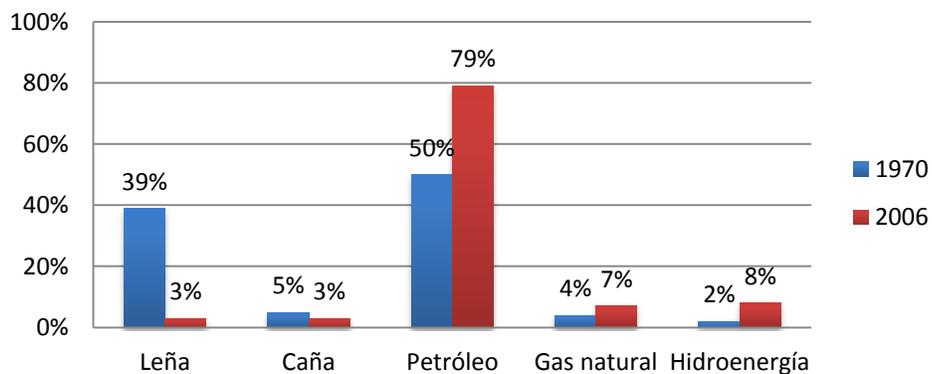
La matriz energética en el Ecuador de acuerdo al Plan Nacional para el Buen Vivir (2009-2013), depende actualmente, en forma mayoritaria, de los combustibles fósiles. Según el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2008) en el Ecuador la dependencia por los combustibles fósiles ha crecido sosteniblemente llegando a

ocupar el 80% de la oferta de energía primaria. Se identifican algunos aspectos claves sobre la matriz energética del Ecuador como:

- La excesiva dependencia de combustibles fósiles ha aumentado la vulnerabilidad del país.
- Se han invertido muy pocos recursos en buscar fuentes diversas de generación energética.
- El 80% del gas natural se desperdicia ya que no se inyecta en las formaciones geológicas o se lo procesa para el uso doméstico.
- Hay muy poco impulso para la utilización de energía geotérmica, eólica o solar. No se presentan estrategias claras para incentivar a los consumidores y empresarios a generar energía renovable.
- No hay capacidad de refinación suficiente del crudo ecuatoriano.
- Hay un incremento sostenido en la demanda de energía para el transporte y la industria, ésta ha aumentado de 36 a 55% en los últimos 16 años.

Para una mejor comprensión de la realidad energética de nuestro país, a continuación se presentan a través de los siguientes gráficos una comparación de la oferta de energía primaria en el Ecuador en 1970 y el 2006:

Gráfico 2. Oferta de energía primaria en Ecuador, 1970 y 2006

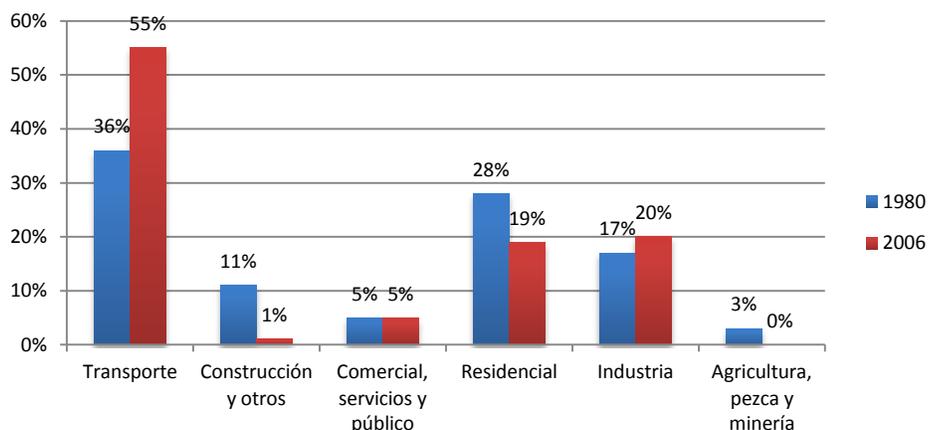


Fuente: Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013

De acuerdo al gráfico anterior, podemos visualizar el incremento sustancial en el tema de la explotación y oferta de petróleo en el Ecuador, dado en las últimas décadas, con una diferencia del 29% en el 2006 en relación a 1970. De la misma manera una reducción en el uso de la leña como medio para la producción de energía, con un decrecimiento del 37% para los años antes mencionados.

El consumo de energía por sectores en Ecuador, en los últimos años, de acuerdo a los datos presentados en el siguiente gráfico, se puede evidenciar un incremento del 19% en el sector del transporte, así como del 3% en la industria. De la misma manera un decrecimiento del 9% en el sector residencial.

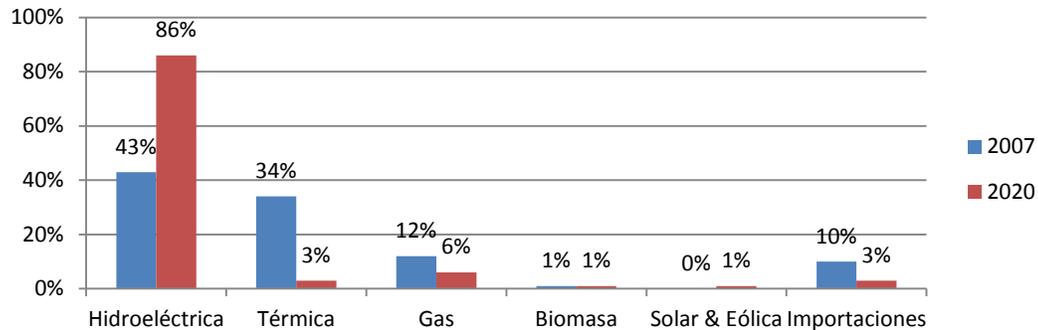
Gráfico 3. Consumo de energía por sectores en Ecuador, 1980 y 2006



Fuente: Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013

En cuanto a la energía eléctrica, el Ecuador tiene una capacidad instalada de 4.000 MW que se compone por un 43% de fuentes hidroeléctricas, 34% de fuentes termoeléctricas (de bunker, diesel y gas natural) y 10% se importa desde Colombia (CONELEC : 2007). Según la matriz energética propuesta hasta el año 2020 (Gráfico 04) se espera reducir considerablemente la producción de energía a partir de combustibles fósiles, dando paso así a la implementación de centrales hidroeléctricas y el impulso a proyectos en energías renovables.

Gráfico 4. Estado inicial al 2007 y resultados esperados al 2020 de la matriz energética



Fuente: Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013

Según se menciona en el Plan para el Buen Vivir (2009-2013): “[...] depender de la generación hidroeléctrica, es potencialmente peligroso, puesto que la variabilidad en los regímenes de lluvias aumenta, como consecuencia del cambio climático y es necesario prever años de sequía graves. Resalta también la necesidad de impulsar la generación de proyectos de fuentes alternativas como son la geotermia, mareomotriz, eólica, solar y biomasa”.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En virtud de la problemática en el sector energético y la contaminación ambiental causada por el uso de combustibles fósiles en la generación de energía, se plantea el presente proyecto enfocado en la obtención de gas natural. Este proceso es el resultado de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos que ocurren en ausencia de oxígeno (sin aire) al interior de un biodigestor, facilitando el crecimiento y proliferación de bacterias anaerobias metanogénicas que descomponen a los residuos o sustrato y, su producto final está compuesto principalmente por un gas combustible conocido como biogás o gas metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y otros elementos en proporciones despreciables y un efluente líquido alcalino rico en nutrientes con materia orgánica estabilizada que puede ser utilizado como abono y fertilizante, eliminando así efectos negativos de contaminación ambiental producidos por los desechos y diversos tipos de vectores que pueden provocar enfermedades .

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un biodigestor para generación de biogás en la finca Tanguarín de la parroquia de San Antonio de Ibarra.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los procesos de transformación de la materia orgánica y su aplicación en la generación de biogás.
- Determinar los parámetros técnicos para el diseño y construcción de un biodigestor.
- Diseñar y determinar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que permitan el control y manejo eficiente del biodigestor y sus componentes.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Los desechos orgánicos de origen animal y vegetal producto de las actividades agrícolas y pecuarias en el Ecuador, constituyen, por una parte una fuente de contaminación ambiental debido a los gases que emana al desecharse al aire libre, y por otra, una importante fuente de energía que hasta ahora no se la ha sabido aprovechar adecuadamente. A través de procesos biotecnológicos, esta materia orgánica puede transformarse en productos valiosos para la producción tanto de energía como también para la elaboración de insumos agrícolas.

El presente trabajo trata de la obtención de gas natural a través de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos al interior de un biodigestor. Desde hace algunos años atrás en Ecuador, se han desarrollado algunos proyectos con biodigestores, que en cierto modo dado buenos resultados especialmente en el sector agrícola, pero así mismo existe desventajas dado a que se han construido de una manera artesanal y su proceso controlado manualmente, generando así pérdidas en la producción y con un tiempo de vida corto.

Se espera que a partir de la aplicación de la tecnología en el diseño y construcción del biodigestor y, el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, se generen mejores índices de rendimiento y producción. De esta manera apoyar al mejoramiento de la calidad de vida de la población, difundir este tipo de tecnología en nuestro país, y contribuir a la conservación del planeta.

1.6. ALCANCE

El presente proyecto trata del diseño y construcción de un biodigestor con sistema de control automático, para la generación de gas natural a partir de insumos orgánicos de la finca Tanguarín ubicada en la parroquia San Antonio de Ibarra.

El sistema automático permite llevar un proceso controlado en la producción de biogás, evaluando permanentemente un fallo o problema en el proceso, para lo cual se utilizan sensores que miden parámetros de presión, temperatura, nivel, presencia de gas metano, entre otras, mismos que envían señales al sistema de control, que a su vez procesa la información y remite una respuesta inmediata si es necesario a los actuadores para la corrección de la falla.

El trabajo realizado se aplica en la finca Tanguarín ubicada en el sector rural de la provincia de Imbabura, debido a que dispone de los requerimientos necesarios para la producción del biogás como materia orgánica de origen animal y vegetal. El lugar de aplicación del sistema depende de las condiciones y necesidades del medio, siendo así que en el sector urbano sería posible a través del aprovechamiento de desechos sólidos y residuos orgánicos.

Funcionalmente el sistema de biodigestión, está en capacidad de ser administrado por el sistema de control automático implementado, y se espera que a través de su aplicación los resultados sean eficientes en el proceso de generación del biogás y lograr la producción deseada en óptimas condiciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe la fundamentación teórica necesaria para la realización del presente trabajo de investigación.

2.2. ENERGÍA

La naturaleza es un gran reservorio de energía, a través de las plantas, los animales y todos los elementos, ya sean estos vivos o inanimados (WWF: 2003).

2.2.1. DEFINICIÓN DE ENERGÍA

La energía se define de forma general como “toda causa capaz de producir un trabajo y su manifestación es precisamente la realización de su virtualidad, es decir, la producción de un trabajo, o bien su transformación en otra forma de energía” (Bridgewater: 2010, 5).

La Primera Ley de la Termodinámica o Ley de Conservación de Energía, menciona el principio: “la energía no se crea, ni se destruye, solo se transforma”, a partir de ello se puede comprobar que la energía es un proceso secuencial que da paso a otras formas de manifestación de energía.

2.2.2. FORMAS DE ENERGÍA

“La energía permanece constante, pero puede cambiar de forma, lo que tiene lugar mediante diferentes procesos o dispositivos” (Bridgewater: 2010, 6). En la siguiente tabla, se presentan algunos ejemplos de las diferentes formas de manifestación de la energía:

Tabla 2. Sistemas de transformación entre diferentes formas de energía

FORMA	ORIGEN	PRODUCCIÓN	USOS
Térmica	Fricción, combustión, energía cinética	Solar, geotérmica, electricidad, química	Cocinar, calefacción, vapor
Radiante	Sol, electricidad, radiación	Solar, electricidad, química	Iluminación, comunicaciones, medicina
Mecánica	Energía potencial	Eólica, hidráulica, mareomotriz, resortes	Mover máquinas
Eléctrica	Electromagnetismo, piezoelectricidad, electricidad estática, pilas y baterías	Centrales térmicas, centrales hidráulicas, fotovoltaica, celdas de combustible, pilas y baterías	Motores, electrónica, calentamiento, almacenamiento de energía
Química	Combustibles, plantas, animales, elementos químicos, biomasa	Biomasa, petróleo, gas, carbón	Motores de combustión interna, cocinar alimentos, transformación química
Gravitacional	Tierra	Hidráulica	Mover máquinas
Magnética	Tierra, imanes	Electricidad	Electromagnetismo
Nuclear	Átomo	Centrales nucleares	Centrales nucleares, electromedicina, radiología

Fuente: Energías Renovables, conceptos y aplicaciones. WWF. 2003

2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA

La energía se produce por diferentes fuentes y es almacenada de diferentes formas. Las fuentes de energía se clasifican en:

a) Energías renovables

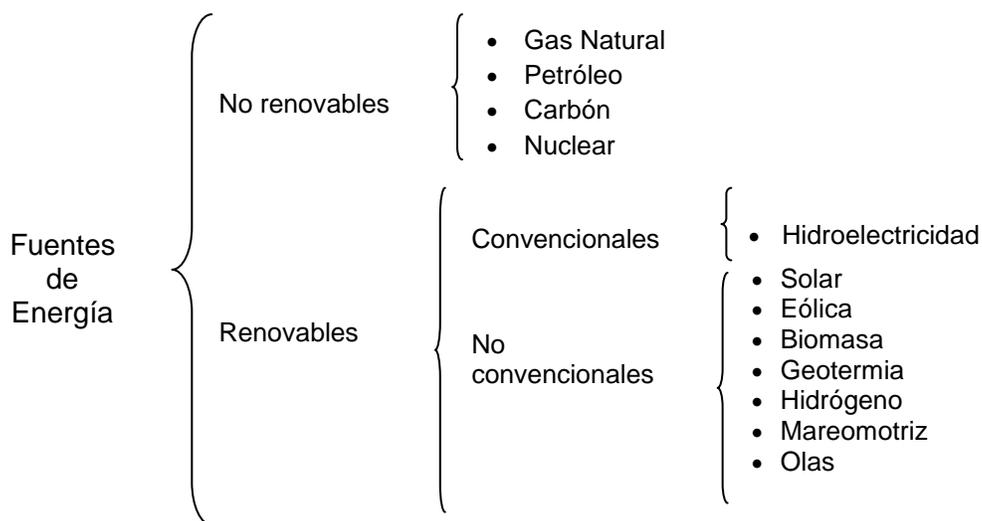
Proviene de fuentes inagotables, principalmente del Sol y la Tierra, y su disponibilidad no disminuye con el tiempo.

b) Energías no renovables

Se las llama no renovables, porque provienen de combustibles extraídos de la tierra, que a su vez luego de ser utilizados en la producción de energía, no se los vuelve a reponer y su disponibilidad es cada vez menor (WWF: 2003).

En el siguiente cuadro se resumen las diversas fuentes de energía:

Diagrama 1. Fuentes de energía



Fuente: WWF, 2007

2.3. ENERGÍAS RENOVABLES

2.3.1. LAS ENERGÍAS RENOVABLES FRENTE A LA SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

Las energías renovables son fuentes que producen constantemente energía, de forma que la energía consumida se renueva continuamente y, en consecuencia, su utilización es ilimitada (De Juana: 2007,8). Al mirar más allá del mediano plazo se advierte una alternativa no fósil para satisfacer una mayor tasa de la demanda futura de electricidad en un mundo limitado por el carbón: fuentes renovables (Spiegel: 2010, 121).

En vista del creciente aumento de los precios de la energía y el reto que plantea el cambio climático, las energías renovables adquieren cada vez más protagonismo dentro del escenario político actual, al disponer del potencial necesario para sustituir poco a poco a las fuentes de energía de combustibles fósiles (DENA: 2010). Las fuentes renovables de energía desempeñarán una función fundamental en la transición hacia un sistema energético más sostenible (PNUMA: 2007).

Según la DENA (2010): con las energías renovables se dispone de fuentes de energía que no producen agentes contaminantes y que están siendo renovadas constantemente por medio de procesos naturales con el fin de que estén disponibles para un período de tiempo infinito en relación a la duración de la vida humana. Las tecnologías en energías renovables pueden conseguir la reducción de grandes cantidades de CO₂, proporcionando medios de producción sostenibles.

2.3.2. VENTAJAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES⁴

Se pueden mencionar muchas ventajas de las energías renovables en diferentes aspectos, entre las más destacadas podemos citar a las siguientes:

a) Tecnologías en energía renovables:

- Son ecológicas y realizan un papel muy importante en atenuar el cambio climático.
- Se encuentran en abundancia en todo el mundo.
- Reducen la dependencia en la importación de energía y fomentan por el contrario, la valoración de lo local.
- Generan empleo en industrias de crecimiento sostenible.
- Son la base para el suministro de energía sostenible a los países industrializados y en vías de desarrollo.
- Es uno de los mercados de mayor crecimiento a nivel mundial.

⁴ Agencia Alemana de Energía DENA (2010): Renewables made in Germany.

- De riesgo poco elevado-sin problemas de emisión ni de eliminación de desperdicios, y de poco interés como potenciales objetivos terroristas.

b) Las tecnologías en energías renovables pueden satisfacer la demanda de cualquier tipo de energía:

- *Suministrando energía a la red:* Las energías renovables pueden reemplazar gradualmente a la energía convencional.
- *Sistema autónomo para proporcionar energía al medio rural:* Dos millones de personas en el mundo siguen sin tener acceso a la red eléctrica pública. Los sistemas autónomos de suministro de energía basados en energías renovables pueden suministrar electricidad en aquellos lugares en los que resultaría difícil o poco rentable construir una red eléctrica.
- *Suministro descentralizado de calor:* La bioenergía, la energía solar y la energía geotérmica suministran la energía necesaria para proporcionar calor, refrigeración y agua caliente para el uso doméstico, así como los procesos de transferencia de calor.

2.3.3. LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL SECTOR RURAL

Las tecnologías renovables permiten el suministro energético a través sistemas aislados o autónomos, y se presentan como una de las opciones más atractivas para aumentar las tasas de abastecimiento de energía en las zonas rurales, donde, debido a su lejanía y los bajos niveles de población, la extensión de la red de energía, la mayoría de las veces, no resulta viable desde un punto de vista económico (TECH4CDM: 2009, 11).

La tecnología renovable basada en sistemas aislados para la implementación de sistemas de producción de energía en el medio rural, es variada en términos de escala y de los servicios prestados, pero se pueden destacar una serie de importantes características comunes:

- Generación de energía “in situ”.
- Flexibilidad para adaptarse a diversas zonas geográficas.
- Optimización de la utilización de los recursos naturales.
- Fácil instalación y mantenimiento.
- Costes mínimos de instalación y mantenimiento: combustible gratuito.
- Respetuosa con el medio ambiente (reducción efecto invernadero).

Muchas tecnologías basadas en energías renovables se utilizan en comunidades rurales para diferentes aplicaciones (uso doméstico, alumbrado público, señalización, telecomunicaciones, refrigeración de medicamentos, riego y purificación, secado, conservación de alimentos, procesamiento de cultivos, etc.).

2.3.4. FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Las energías renovables se clasifican de acuerdo a su fuente y forma de aprovechamiento de los recursos renovables, entre las más destacadas se encuentran:

- Solar
- Eólica
- Biomasa
- Geotérmica
- Hidrógeno
- Mareomotriz
- Olas
- Hidroenergía

Por motivos del tema de la presente investigación, se fundamentará más ampliamente la energía producida a través de procesos bioenergéticos.

2.4. LA BIOMASA Y MÉTODOS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

2.4.1. GENERALIDADES

- **La Biomasa como energía renovable**

Se considera que la biomasa es una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO₂) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen. De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar. Entonces, se produce en forma sostenida o sea - en el mismo nivel en que se consume – esa batería durará indefinidamente (PNUD: 2002).

Los cultivos agrícolas tradicionales producen desechos cuyos constituyentes energéticos no son utilizados y en la mayoría de los casos se los trata como basura. Los desechos orgánicos de animales, pueden alimentar un biodigestor y producir gas metano para utilizarlo en procesos de calor y electricidad.

En el año de 1997, según la WWF (2003), en el Ecuador las industrias agrícolas como caña, palma africana, maíz, soya, frutas, arroz, etc., no aprovechan los residuos que generan y más bien son fuentes de contaminación ambiental. Los residuos de aguas servidas son arrojados abiertamente a los ríos provocando la contaminación del agua. Mediante procesos tecnológicos adecuados, se pueden aprovechar estos residuos y extraer el mayor contenido energético de la biomasa.

- **Perspectivas de la Biomasa en Ecuador**

El Ecuador, al ser un país exportador de petróleo y siendo este su principal fuente de ingresos, la promoción de sistemas energéticos que aprovechen la bioenergía podría reducir significativamente el uso de combustibles fósiles. Este tipo de energía crearía una infraestructura de autoabastecimiento y autosustentación energética,

ampliaría las áreas de cultivo de productos agrícolas y pecuarios, incrementaría el empleo y con ello se mejoraría el nivel de vida de los ecuatorianos.

Las perspectivas de desarrollo de la biomasa como fuente de energía en las próximas décadas han llevado a creer en un cambio de la composición energética de la humanidad: el paso de los hidrocarburos (combustibles fósiles) a los carbohidratos (materia orgánica).

2.4.2. CONCEPTO DE LA BIOMASA

El término Biomasa según De Juana (2007) se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico. El concepto de biomasa comprende a productos tanto de origen vegetal como animal.

Además al referirse a la "bioenergía" o "energía de masas" según Bridgewater (2009) es la energía obtenida mediante la combustión de materiales derivados de fuentes biológicas, es decir la bioenergía es la energía generada de recursos biológicos renovables. El término Biomasa incluye también todos los desperdicios generados por nuestra sociedad, como por ejemplo los residuos industriales de la fabricación de alimentos y bebidas, el estiércol humano y animal, y los residuos domésticos.

2.4.3. VENTAJAS DE LA BIOMASA⁵

El uso de la biomasa como combustible tiene beneficios significativos como: mitigar el efecto del cambio climático; reducir la lluvia ácida, la erosión del suelo, la contaminación del agua; reducir las cantidades de desechos en rellenos sanitarios y botaderos de basura; mejorar el ambiente y el hábitat natural; y, en general, mejorar las condiciones del suelo para cultivos y bosques.

Además de los beneficios ambientales, la biomasa trae consigo otros beneficios de carácter económico y social, como la diversificación del uso del suelo, ampliación de

⁵ DENA (2010): Agencia Alemana de Energía. Energías Renovables "Made in Germany". El suministro de energía verde para hoy y mañana.

las zonas agrícolas, creando así empleos directos e indirectos, y la reducción del uso de combustibles fósiles.

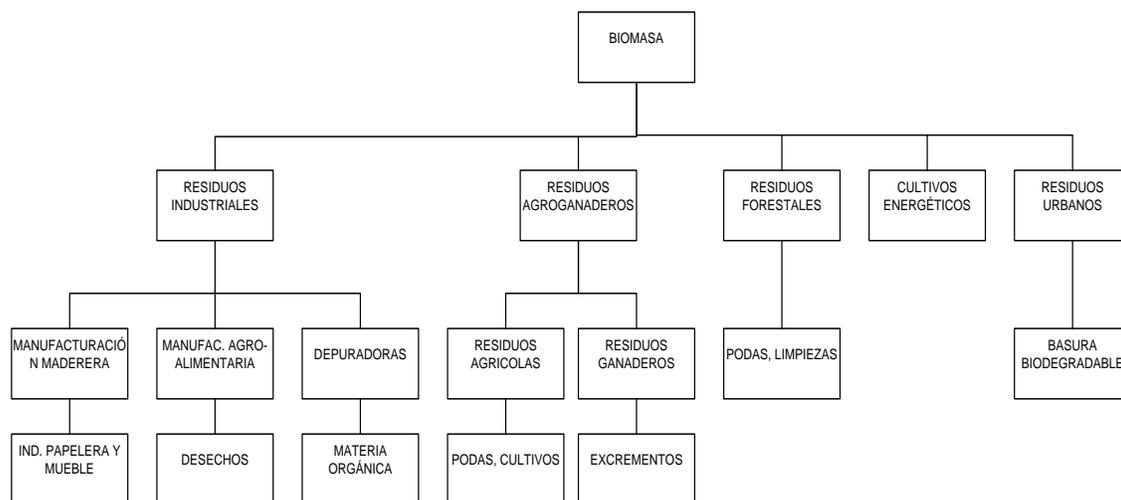
2.4.4. ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

La biomasa como fuente para la producción de energía renovable puede clasificarse en diferentes variedades según las condiciones naturales o artificiales que se encuentren a disposición. Una breve clasificación hace referencia a la biomasa como fuente de poder energético de la siguiente manera:

- Biomasa natural
- Biomasa residual seca
- Biomasa residual húmeda
- Cultivos energéticos, forestales y agrícolas

El siguiente diagrama hace referencia al origen de la biomasa, clasificándolos por la variedad de residuos y sus derivados, sean estos procesados o en su estado natural.

Diagrama 2. Origen de la biomasa



Fuente: Energías renovables para el desarrollo, 2010

Elaboración: Autor

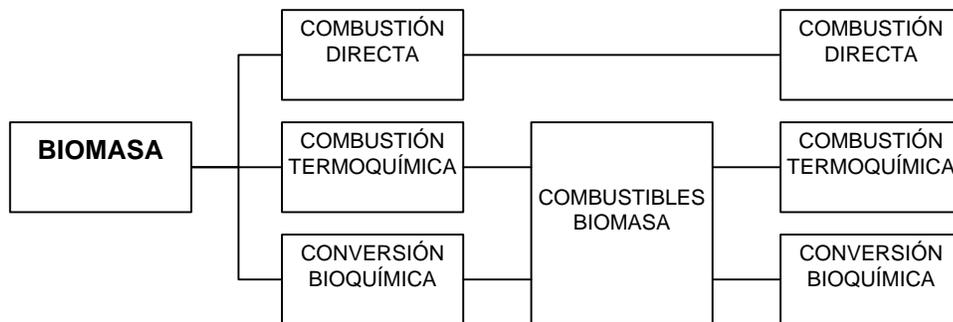
2.4.5. UTILIZACIÓN DE LA BIOMASA Y MÉTODOS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA

La biomasa, de acuerdo al tipo de materia o uso se utiliza en diferentes aplicaciones, entre las más importantes se encuentran las siguientes:

- a) Biofuerza
- b) Biocombustibles
- c) Bioproductos

Para realizar la transformación de la biomasa en energía existen varios métodos, los más utilizados son los métodos termoquímicos y los biológicos como se lo puede apreciar en el siguiente diagrama:

Diagrama 3. Procesos de la conversión de la biomasa en energía



Fuente: Energías renovables para el desarrollo, 2010

Elaboración: Autor

2.5. BIODIGESTIÓN

2.5.1. BIOGÁS Y TIPOS DE BIODEGRADACIÓN DEL SUSTRATO

El biogás es una mezcla de metano y dióxido de carbono producido por la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos. La parte activa (metano) puede utilizarse para cocinar, para la calefacción, para alimentar motores, para la iluminación, etc. (De Juana: 2007, 166).

El término biogás se refiere a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaeróbicas. La composición de biogás depende del tipo de desecho utilizado y de las condiciones en que se procesa. Los principales componentes del biogás y en mayor porcentaje son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación.

Tabla 3. Porcentaje de los gases presentes en el biogás

GAS	VOLUMEN
Metano, CH_4	54 - 70%
Dióxido de carbono, CO_2	27 - 45%
Hidrógeno, H_2	1 - 10%
Nitrógeno, N_2	0.5 - 3%
Acido Sulfhídrico, H_2S	0.1%

Fuente: Energías renovables para el desarrollo, 2010

Elaboración: Autor

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo.

El proceso de biodegradación del sustrato se da por dos métodos:

- Descomposición aeróbica (con oxígeno).
- Descomposición anaeróbica (sin oxígeno).

Para fines del desarrollo de la presente investigación, se hará referencia más detalladamente a la biodigestión anaeróbica.

2.5.2. BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA Y SUS ETAPAS

Esta descomposición ocurre en ausencia de oxígeno (sin aire) al interior de un biodigestor, medio que facilita el crecimiento y la proliferación de un grupo de bacterias anaerobias metanogénicas, que descomponen y tratan los residuos

dejando como resultado final un gas combustible conocido como biogás, además produce un efluente líquido alcalino rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

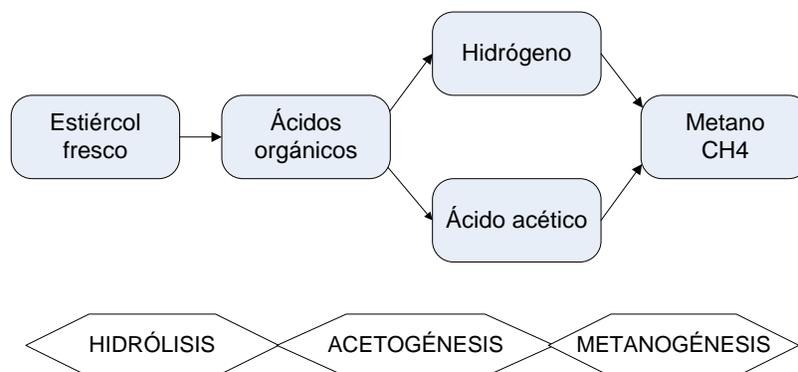
De acuerdo a lo anterior se tienen tres etapas:

- a) Hidrólisis
- b) Acidogénesis
- c) Metanogénesis

Durante el proceso de generación del gas metano, hay una producción en cadena de diferentes tipos de bacterias. En la etapa de la **Hidrólisis**, unas bacterias inicialmente producen una hidrólisis del estiércol generando ácidos orgánicos. En la etapa de la **Acidogénesis**, otro tipo de bacterias digieren estos ácidos orgánicos a través de una deshidrogenación y acetogénesis dando como resultado ácido acético e hidrógeno. Y finalmente en la etapa de la **Metanogénesis**, otras bacterias, llamadas metanogénicas, digieren el hidrógeno y el ácido acético para transformarlo en metano, que es el gas más importante del biogás y el que permite la combustión (Martí J.: 2008).

En el siguiente diagrama se representa el proceso biológico, que ocurre al interior del biodigestor:

Diagrama 4. Etapas de la digestión anaeróbica



Fuente: Martí, J. (2008: 26).

El producto obtenido al final de la descomposición puede llegar a tener un 60% de metano (CH_4) y un 40% de dióxido de carbono (CO_2), dependiendo estos valores de la calidad de la materia prima.

La materia prima ó residuos orgánicos pueden ser carbohidratos, lípidos (grasas) y proteínas. En la siguiente tabla se presenta la producción específica de biogás de los residuos orgánicos y sus proporciones:

Tabla 4. Producción específica de biogás de los residuos orgánicos

Residuo orgánico	Producción específica de biogás [litros/kg]	Contenido proporcional	
		CH_4	CO_2
Carbohidratos	790	50%	50%
Lípidos	1.250	68%	32%
Proteínas	700	71%	29%

Fuente: WWF, 2003

Los microorganismos que intervienen en cada fase de biodigestión, tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor.

2.5.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores.

- **Tipo de materia Prima**

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias, restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

En la siguiente tabla se trata acerca de las cantidades de estiércol producido por diversos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos, tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles (SV).

Tabla 5. Producción de estiércol por especie

ESPECIE	PESO VIVO	Kg. ESTIERCOL/día	%CH4
Cerdos	50	4,5 - 6	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	65
Equinos	450	12 - 16	65
Ovinos	45	2,5	63
Aves	1.5	0,06	60
Caprinos	40	1,5	-

Fuente: WWF, 2003

Para mejorar la producción de metano de los biodigestores, es conveniente mejorar los Sólidos Volátiles (SV), es decir que en la mezcla de estiércoles se encuentre balanceada la cantidad de Carbono / Nitrógeno (C/N), además se encuentre con niveles de pH balanceados y que posea una alta cantidad de organismos metanizantes.

- **Temperatura del sustrato**

La digestión es más rápida y más completa a temperaturas elevadas, el intervalo de 15 - 35°C es adecuado para la velocidad de digestión y la estabilidad del digestor.

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 10° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 60 a 75°C, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 6. Rangos de temperaturas para la generación de biogás

FASE	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD	TIEMPO DE RETENCIÓN
Psicrofílicas	4 - 15°C	± 2°C/hora	Más de 100 días
Mesofílicas	15°C - 40°C	± 1°C/hora	30 – 60 días
Termofílicas	40°C - 75 °C	± 0,5°C/hora	10 – 16 días

Fuente: WWF, 2003

En el rango **mesofílico** las bacterias que se desarrollan en este nivel de temperatura se reproducen fácilmente siendo la temperatura óptima de 30 °C, en la cual los desechos orgánicos se pueden digerir a esta temperatura produciendo biogás. Sin embargo, es necesario conocer las condiciones ambientales en las cuales se llevará dicho proceso para la instalación del equipo de generación de gas.

En la fase **termofílica** se produce la mayor cantidad de biogás que en el anterior y en tiempos más cortos, en general sólo es usado en las grandes instalaciones a nivel industrial, ya que se requiere de un control muy preciso.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación, esto se conoce como tiempo de retención que se detallará más adelante.

- **Carga volumétrica**

La carga volumétrica es el volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención hidráulico, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. Con la siguiente expresión se puede calcular la carga volumétrica.

Ecuación 1. Cálculo de la carga volumétrica del sustrato

$$CV = \left(\frac{1}{TRH} \right) (C_i)$$

Donde:

CV = Carga volumétrica.

TRH = Tiempo de retención hidráulico. [día]

C_i = Concentración del efluente en [Kg]

Al incrementar la carga volumétrica (CV) se reduciría el tamaño del biodigestor, pero también se reduciría el porcentaje de sólidos volátiles (SV) convertidos a gas.

- **Inclusión de inoculantes**

El crecimiento de bacterias en el interior de los digestores posee tres etapas:

- a) Arranque.
- b) Estabilización.
- c) Declinación.

Existen dos factores que deben ser tomados en cuenta en la inoculación de un digestor que son: la proporción en que se agrega la inclusión y la edad del digestor. Por lo que a mayor proporción y menor edad, la eficacia será mayor.

- **Tiempo de retención**

El tiempo de retención es la relación entre el volumen del biodigestor dividido por la carga diaria.

En la siguiente tabla, se puede apreciar el Tiempo de retención (TR) y la materia prima que es usada en la digestión de estiércoles a temperatura mesofílica.

Tabla 7. Tiempo de retención y materia prima

MATERIA PRIMA	TR
Estiércol vacuno líquido	20 - 30 días
Estiércol porcino líquido	15 - 25 días
Estiércol aviar líquido	20 - 40 días
Estiércol animal mezclado con plantas	50 - 80 días

Fuente: WWF, 2003

En la Tabla 08, se establece como referencia la producción de gas y el tiempo de retención en función de la temperatura de acuerdo a la materia orgánica de origen bovino.

Tabla 8. Producción de gas en relación con el tiempo de retención

Temperatura [°C]	Producción de gas [m³/día]	Tiempo de Retención [meses]
15	0.15	12
20	0.30	6
25	0.60	3
30	1.00	2
35	2.00 o mayor	1

Fuente: WWF, 2003

El límite mínimo de los TR está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digester extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

- **Nivel de acidez (pH)**

El nivel de pH o potencial de hidrógeno es un indicativo de la acidez o basicidad de una solución orgánica. La bacteria metanogénica se reproduce mejor en un ambiente neutro o ligeramente ácido entre 6,5 y 8,00. El pH tiende a disminuir como causa de

la presencia de los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato. Por lo que a medida que las bacterias acidogénicas producen el ácido, las bacterias metanogénicas consumen ese ácido para mantener la neutralidad del sustrato, caso contrario el pH desciende en el biodigestor y puede no ser suficiente por lo que la solución se vuelve ácida y no hay producción de metano.

Tabla 9. Efectos del pH en la biodigestión⁶

pH	EFEECTO
7 – 7.6	Óptimo
≤ 6.2	Retarda la acidificación
≥ 7.6	Retarda la amonización

Fuente: WWF, 2003

Para controlar las variaciones del pH en el biodigestor, existen dos métodos de control.

- a) Detener la carga del biodigestor y permitir durante cierto tiempo que las bacterias metanogénicas reduzcan los AGV, permitiendo que el nivel de pH se incremente hasta valores aceptables entre el rango establecido.
- b) Agregar tampones o buffer para elevar el pH sin cambiar el ritmo de carga del biodigestor, los elementos a usar son el carbonato de sodio que evitan las precipitaciones del carbonato de calcio, sin embargo este material resulta ser costoso, también se puede agregar agua con cal.

- **Contenido de sólidos**

El contenido de sólidos en el sustrato determina la movilidad de los metanogenes, por lo que hay que encontrar la mejor combinación de sólido/líquido en la mezcla, que optimice la producción de metano.

⁶ FUNDACIÓN PESENCA (1992): El Biogás y sus Aplicaciones. Colombia. Pág. 34.

- **Agitación y mezclado**

La agitación tiene como objetivo los siguientes aspectos:

- Remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas.
- Mezcla del sustrato fresco con población bacteriana.
- Evitar que se forme una costra al interior del digestor.
- Establecer una densidad uniforme en la población bacteriana y evitar que deje de existir actividad biológica, que pueda inhibir el proceso.

Existen diferentes mecanismos de agitación desde lo más simple hasta lo más complejo, esto se logra agitando manualmente, agitación por medio de la entrada y salida de líquidos que entran al digestor, agitación de tipo electromecánico por medio de un motor eléctrico acoplado a una hélice, y también existe procesos de recirculación de sustrato por medio de bombas.

- **Elementos Inhibidores**

Este parámetro es muy importante y debe ser tomado en cuenta debido a que metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso de fermentación. Razón por la cual se debe evitar la carga de estiércol proveniente de animales tratados con antibióticos.

2.5.4. PRODUCTOS RESULTANTES DE LA BIODIGESTIÓN

Los productos resultantes de la digestión anaeróbica son:

- **Biogás**

El biogás es usado como cualquier otro combustible para uso doméstico e industrial, el prerequisite indispensable es que exista la disponibilidad de quemadores diseñados especialmente para operar con biogás.

Algunos aparatos en los cuales se podría utilizar son:

- Estufas
- Lámparas

- Refrigeradores
- Calentadores
- Incubadoras
- Motores de generación eléctrica

En el mercado de los energéticos, la planta de biogás compite con la leña, el gas propano y la electricidad; fuentes energéticas utilizadas usualmente en la cocción; con el kerosene, las velas y la electricidad en la iluminación, sobre todo en lugares donde el servicio es deficiente o no existe; con el gas propano y la electricidad en la refrigeración y con la gasolina o el diesel, como combustible para motores.

El poder calorífico del biogás es de 4,500 a 6,300 Kcal por m³. Esto significa que cada m³ de biogás puede reemplazar a 0.46 kg de gas propano, 0,7 litros de gasolina, 0,6 litros de diesel ó 2 kg de leña, lo que previene en gran medida la destrucción de los bosques. Se ha calculado que 1 m³ de biogás puede ser utilizado para cocinar tres comidas al día para cuatro personas y, evita la deforestación de 0.335 ha de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (López: 2011).

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- Generar 1.25 kw / h de electricidad
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 vatios
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora
- Hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad durante 30 minutos
- Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas

En el mercado de los abonos, la planta de biogás compite con el estiércol fresco y con los fertilizantes químicos; ya que permite un ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminuir la productividad y además presenta un aumento de la productividad al compararla con la de suelos no abonados.

- **Producción de abono y biofertilizante (Biol)**

El Biol es el sustrato resultante del proceso de biodigestión anaeróbica. Este presenta algunos beneficios para el sector agrícola principalmente. El Biol puede ser

utilizado para múltiples cultivos, sean de ciclo corto (algunas hortalizas), anuales (quinua, papa, etc.), perennes (alfalfa), plantas ornamentales, etc.), gramíneas (trigo, cebada, avena), raíces (nabo, zanahoria), forrajeras (pastos cultivados), leguminosas (habas, fréjol), frutales (cítricos, piña), hortalizas (acelga, zanahoria, lechuga, apio), tubérculos (papa, oca, camote), con aplicación dirigidas al follaje.

Dentro de los beneficios obtenidos por el Biol, se podrían mencionar a los siguientes:

- Nutre, Recupera y Reactiva la vida del suelo.
- Acelera el crecimiento y desarrollo de la plantas.
- Mejora producción y productividad de las cosechas.
- Aumenta la resistencia a plagas y enfermedades (mejora la actividad de los microorganismos benéficos del suelo y ocasiona un mejor desarrollo de raíces, en hojas y en los frutos.
- Aumenta la tolerancia a condiciones climáticas adversas
- Es ecológico, compatible con el medio ambiente y no contamina el suelo.
- Es económico.
- Sustituye cierta cantidad de fertilizantes químicos.

Los nutrientes presentes en las excretas se encuentran usualmente ligados a formas orgánicas complejas tales como proteínas, carbohidratos y lípidos. Mediante el proceso de biodigestión, estos compuestos son desdoblados dejando los nutrientes en formas simples y fáciles de asimilar por las plantas. En los biodigestores no se destruye ninguno de los nutrientes presentes en los desechos, pero estos se hacen más disponibles para las plantas (López: 2011).

Además de su valor para proveer nutrientes, el efluente ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo contribuyendo a recuperar áreas con suelos degradados (López: 2011). A su vez ayudan al crecimiento y desarrollo de las plantas de una forma orgánica, dejando así la dependencia causada por los fertilizantes químicos, y logrando una producción limpia libre de contaminantes.

El efecto fertilizante del biol no es tan marcado como el de los fertilizantes químicos pues estos últimos suministran en forma rápida sus nutrientes a las plantas, mientras

que los nutrientes del efluente son absorbidos más lentamente. El resultado es un almacenamiento acumulativo de sustancias nutritivas debido a la presencia continua de los nutrientes del efluente en el suelo.

En el mercado ecuatoriano la producción de Biofertilizante (Biol), no es todavía muy común. La materia orgánica resultante de la producción agrícola se lo usa como abono para el suelo, siendo así que un valor agregado sería la producción de Biol, que además de aprovechar los recursos, generaría ingresos económicos y a su vez reduciría el impacto ambiental causado por la emanación de gas metano a la atmósfera.

2.6. BIODIGESTORES

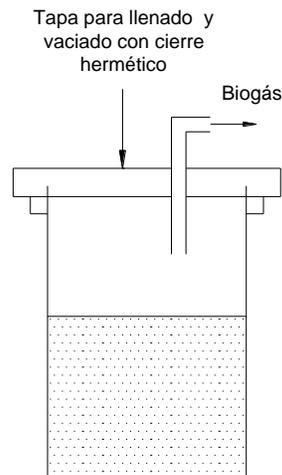
Un biodigestor es una cámara hermética que se usa para la producción de biogás, a partir de una mezcla de gases creada por bacterias metanogénicas que digiere la materia orgánica en condiciones anaeróbicas. Como resultado se obtiene biogás que puede sustituir al gas licuado de petróleo (GLP), y su uso sirve para generar electricidad, calefacción, cocción de alimentos e inclusive en motores de combustión interna. Además de lo mencionado el biodigestor proporciona un efluente rico en nutrientes que sirve de abono orgánico utilizado en los cultivos.

2.6.1. BIODIGESTORES DE ACUERDO AL SISTEMA DE CARGA

- **Biodigestores de flujo discontinuo**

Están adecuados para tratar residuos sólidos, con más del 20% de materia seca (estiércol, camas de ganado o deyecciones sólidas). La carga de volumen total útil de biodigestor se realiza de una sola vez. Transcurrido el tiempo necesario que la digestión se complete (3 a 6 meses) se procede al vaciado y se repite la operación de carga. Este sistema presenta un bajo rendimiento y una producción de gas discontinua, lo que dificulta su utilización. En el siguiente gráfico, se presenta un modelo de biodigestor de flujo discontinuo.

Figura 1. Biodigestor de flujo discontinuo



Fuente: Energías renovables para el desarrollo, 2010.

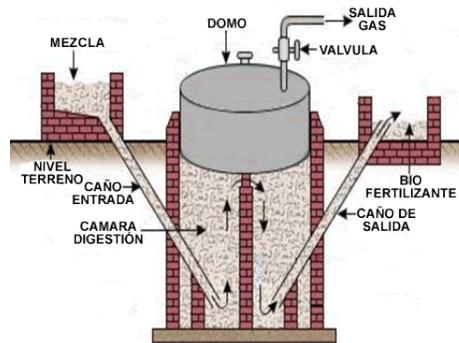
- **Biodigestores de flujo semi-continuo**

Este tipo de biodigestores, necesitan recibir una carga fija de materia prima cada día y aportan el efluente en la misma cantidad.

- **Biodigestor tipo Hindú (domo móvil)**

Es un digestor de campana flotante, usado en zonas rurales de tipo semi-continuo. Se lo carga por gravedad una vez al día, en este digestor el volumen de carga depende del tiempo de retención, el mismo que produce una cantidad de gas de manera constante siendo esta su principal característica. En la parte superior posee una campana móvil, que sube como consecuencia del aumento de la producción de gas y baja debido al consumo.

Figura 2. Biodigestores tipo hindú (domo móvil)

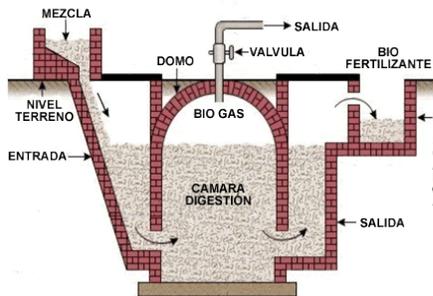


Fuente: <http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

- **Biodigestor tipo Chino (domo fijo)**

Es un digestor semi-continuo, de campana fija, construida de diversos materiales y el biogás es recolectado en un recipiente fijo. La característica de este digestor es que trabaja a presión variable.

Figura 3. Biodigestor de domo fijo



Fuente: <http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

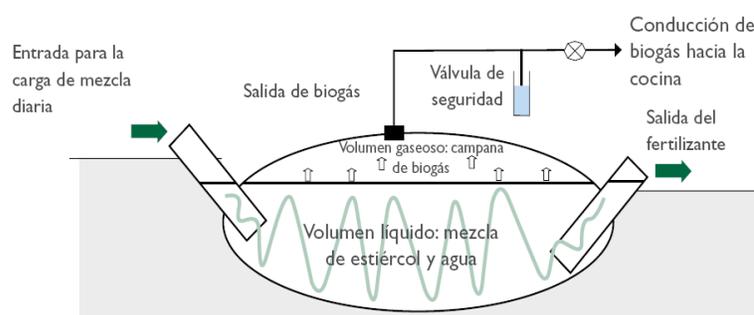
Es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana móvil y totalmente enterrado. Al igual que el modelo hindú, recibe carga fresca por un conducto que la lleva a la parte baja y entrega el efluente por rebose a un depósito externo en la parte superior (Robalino: 2009).

2.6.2. BIODIGESTORES DE ACUERDO A LA DIRECCIÓN DEL FLUJO

- **Flujo horizontal**

Consiste de una bolsa de plástico o caucho, en forma de salchicha, que se acomoda sobre el piso a lo largo de una zanja en el terreno para que esté parcialmente sujeto por la tierra en los bordes. La carga fresca entra por un extremo y la descarga se hace por el opuesto (Robalino: 2009). El gas se almacena en la parte superior ocupando aproximadamente un 25% del volumen total. Para la carga y descarga del sustrato está provista de tubos sujetos a la pared de la bolsa.

Figura 4. Biodigestor de flujo horizontal

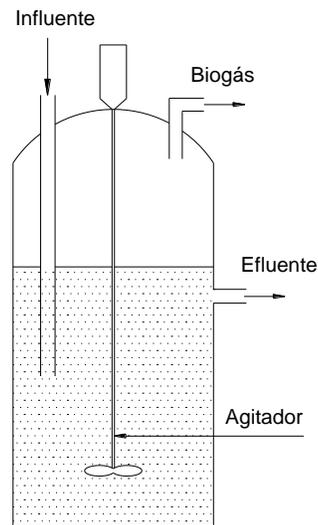


Fuente: Proyecto EdV Bolivia, GTZ

Este tipo de biodigestor tiene ciertas dificultades, como es el caso de baja presión, problemas con los alrededores ya que es susceptible de rupturas, y debe soportar las condiciones climáticas del entorno de trabajo. Su tiempo de vida útil es de 5 años (Fundación Presenca: 1992).

- **Biodigestores completamente mezclados**

En este tipo de digestor el sustrato se mezcla por medio de paletas internas, con el fin de lograr un mayor contacto entre la carga de entrada y el sustrato que se está procesando, cabe indicar que el tiempo de retención oscila entre 10 a 30 días y son aplicables para residuales con alto contenido de sólidos totales. La desventaja que presenta es el ritmo de carga lento, provocando un aumento en el tiempo de retención.

Figura 5. Biodigestor completamente mezclado

Fuente: Energías renovables para el desarrollo, 2010.

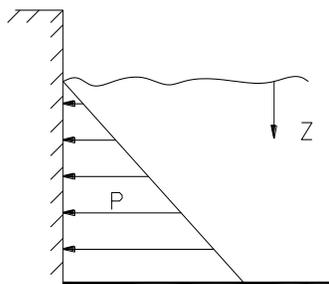
2.6.3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DEL BIODIGESTOR

- **Presión Atmosférica**

Según Yunus (1996): “**Presión**: es la fuerza que ejerce un fluido por unidad de área. La presión solo se emplea cuando se trata con un gas o un líquido. La contraparte de la presión en los sólidos es el **esfuerzo**”.

En un fluido en reposo, la presión de un punto determinado es la misma en todas las direcciones. La presión en fluido aumenta con la profundidad como resultado del peso del fluido. Este aumento se debe a que el fluido a niveles bajos soporta más peso que el fluido a niveles altos. La presión varía en dirección vertical como consecuencia de los efectos gravitacionales.

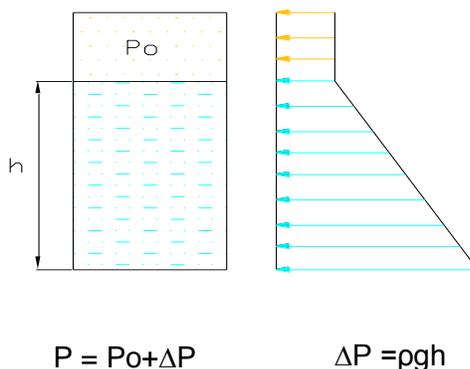
Figura 6. Incremento de la presión con aumento de la profundidad



Fuente: Yunus 1996

Revisado el concepto de presión, el siguiente paso es la aplicación del concepto enfocado al análisis del digestor. En el siguiente gráfico se puede apreciar la distribución de la presión en las paredes de un depósito.

Figura 7. Distribución de la presión en las paredes del biodigestor



Fuente: Yunus 1996

La fórmula para realizar el cálculo de la máxima presión se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Cálculo de la máxima presión

$$P_1 = P_0 + \Delta P$$

Donde:

P_1 = Presión hidrostática en el fondo del recipiente [Kpa]

P_0 = Presión inicial ≈ Presión de gas en la campana = 100 [mm H₂O] = 980[Pa]

ΔP = Variación de presión respecto a la altura del fluido [Pa] = ρgh_L

2.7. SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

2.7.1. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL

- **Proceso**

Puede consistir en un conjunto complejo de fenómenos que se relacionan en alguna secuencia de manufactura.

- **Medida**

Se refiere a la transducción de una variable a alguna otra forma análoga de aquella, empleando para ello un sensor o transductor.

- **Detector de error**

Detecta el error en las variables del proceso.

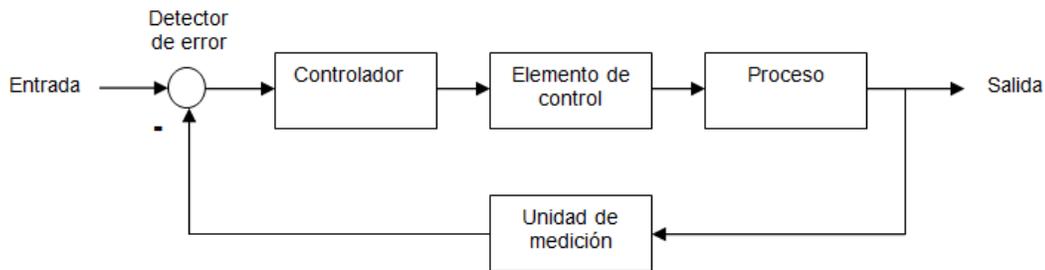
- **Controlador**

Es el dispositivo que puede ser una computadora o un circuito electrónico, cuya función es examinar el error y determinar que acción, de ser necesaria, debe realizarse.

- **Elemento controlador final**

Es el dispositivo que ejerce una influencia directa en el proceso, esto es, provee los cambios requeridos por la variable controlada, para llevar su magnitud al valor de referencia.

Diagrama 5. Diagrama de bloques de un sistema de control



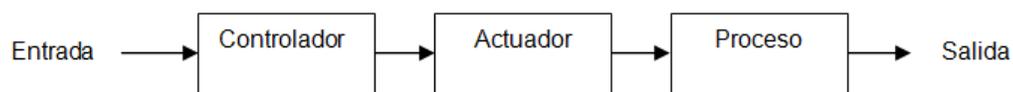
Fuente: Sistemas de instrumentación, 2006

2.7.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

- **Sistema de control de lazo abierto**

Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador.

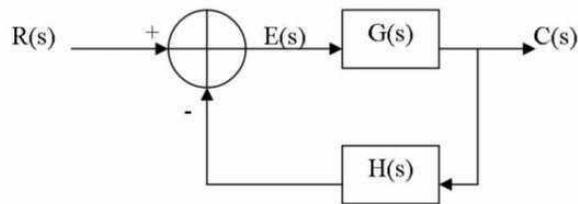
Diagrama 6. Sistema de control en lazo abierto



Fuente: Ingeniería de control moderna, 2005.

- **Sistema de control de lazo cerrado**

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia.

Diagrama 7. Sistema de control en lazo cerrado

Fuente: Ingeniería de control moderna, 2005.

2.8. ELECTRÓNICA

La electrónica es el campo de la ingeniería y la física, encargada del estudio del diseño y aplicación de dispositivos, cuyo funcionamiento depende del flujo de electrones para la generación, transmisión, recepción, almacenamiento de información, entre otros. La electrónica se clasifica básicamente en electrónica analógica y electrónica digital.

2.8.1. ELECTRÓNICA ANALÓGICA

La electrónica analógica es aquella que considera y trabaja con un conjunto continuo de valores, y señales que cambian en el tiempo.

2.8.2. ELECTRÓNICA DIGITAL

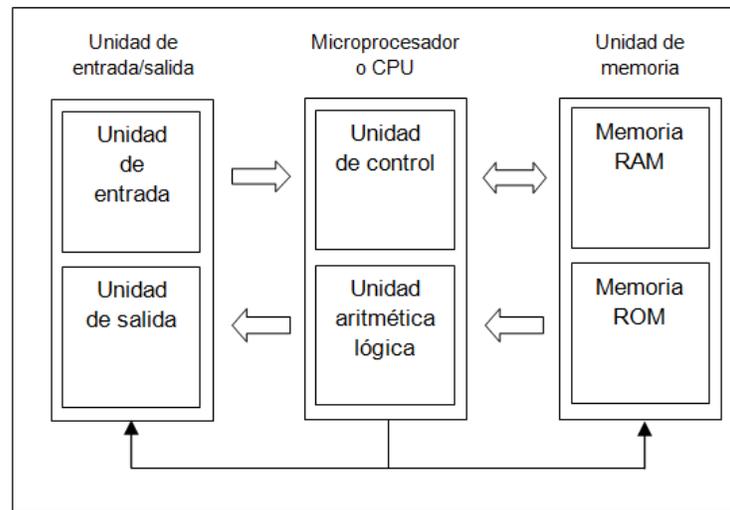
La electrónica digital se encarga de los sistemas electrónicos en los cuáles la información está codificada en dos estados: valores bajo y valor alto, o también llamados falso y verdadero respectivamente.

2.8.3. MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es un circuito que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el mismo dispositivo que lo gobierna. (Collaguazo: 2007). Es muy utilizado en la automatización de procesos.

En el siguiente diagrama, se presenta la estructura general de un microcontrolador:

Diagrama 8. Estructura general de un microcontrolador



Fuente: Microcontroladores CEKYT, 2002

Un microcontrolador dispone de las siguientes características:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso)
- Memoria RAM para contener los datos del proceso
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertos serie y paralelo, conversores analógico/digital, conversores digital/analógico, etc.)
- Generador de pulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento del sistema completo.

- **Tipos de microcontroladores**

Los microcontroladores se clasifican básicamente de acuerdo a las prestaciones que ofrecen en las diferentes gamas, ya sean baja, media y alta.

- *Gama baja*

Es una serie de microcontroladores con recursos muy limitados, pero con una de las mejores relaciones coste/beneficio. Está formada por dispositivos de 4, 8 y 16 bits, y están dedicados fundamentalmente a tareas de control; se utilizan en electrodomésticos, cabinas telefónicas, algunos periféricos de ordenadores, etc.

Figura 8. Microcontrolador gama baja



Fuente: <http://www.5hz-electronica.com/convertidoranalogicodigital-mcp3002.aspx>

- *Gama media*

La gama media es la más variada y completa de los microcontroladores. Está formada por dispositivos de 16 y 32 bits, son utilizados para tareas de control con cierto grado de procesamiento, como control en automóviles, teléfonos móviles, etc.

Figura 9. Microcontrolador gama media



Fuente: <http://www.sigmaelectronica.net/pic18f4550-p-866.html>

- *Gama alta*

La gama alta está compuesta por dispositivos de 32, 64 y 128 bits. Cuenta con características de periféricos de mayor demanda en aplicaciones, como procesamiento en ordenadores, videoconsolas, etc.

Figura 10. Microcontrolador gama alta



Fuente: <http://mx.mouser.com/microchip/>

- **Recursos de los microcontroladores**

Existen algunas características básicas y comunes basadas en su estructura interna que se encuentran en los microcontroladores, independientemente de su marca o fabricante. Entre los elementos que disponen están:

- *Procesador o CPU*

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina las principales características, tanto a nivel de hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de operandos y el almacenamiento de resultados (Collaguazo:2009).

- *Memoria*

En los microcontroladores la unidad de memoria se encuentra integrada en el mismo chip, y es la encargada de almacenar los datos y los programas que operan sobre esos datos (CEKIT: 2002).

Un microcontrolador posee varios tipos de memorias las cuáles son necesarias para el correcto funcionamiento del mismo.

- Memoria RAM (Random Access Memory)
- Memoria ROM (Read Only Memory)
- Memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
- Memoria EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)
- Memoria Flash

- *Líneas de Entrada/Salida*

Son también llamados puertos, empleados para la comunicación con elementos externos.

- *Reloj principal*

Es un circuito oscilador del microcontrolador, que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los pulsos de reloj.

Para seleccionar el tipo de microcontrolador a utilizar en una aplicación, se deben tomar en cuenta algunos aspectos importantes:

- Capacidad de procesamiento de datos
- Número de entradas y salidas
- Memoria

- **Software de Programación**

Se han desarrollado varios tipos de software para programar un microcontrolador, de acuerdo a los conocimientos y necesidades del programador, entre los más comunes se encuentran:

- *Compilador CCS C*

Según García (2008): “Un compilador convierte un lenguaje de alto nivel a instrucciones en código máquina”. El Compilador de CCS permite desarrollar programas en lenguaje C, con las ventajas que supone tener un lenguaje desarrollado especialmente para un microcontrolador concreto. Permite al programador desarrollar el programa, editarlo y compilarlo a lenguaje máquina en el entorno de trabajo del PC, el código máquina puede ser cargado del PC al PIC mediante cualquier software programador y puede ser depurado desde el entorno de trabajo del PC.

- *Simulador*

Un simulador es una herramienta para la verificación vía software que permite comprobar, prácticamente cualquier diseño y la eficacia del programa desarrollado. La simulación de código de programación, permite verificaciones análogo-digitales de sistemas basados en microcontroladores. Existen muchos programas simuladores en el mercado, pero uno de los de mayor versatilidad es el PROTEUS.

2.8.4. SENSORES

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, calor, presión, movimiento, etc.) a valores medibles a dicha

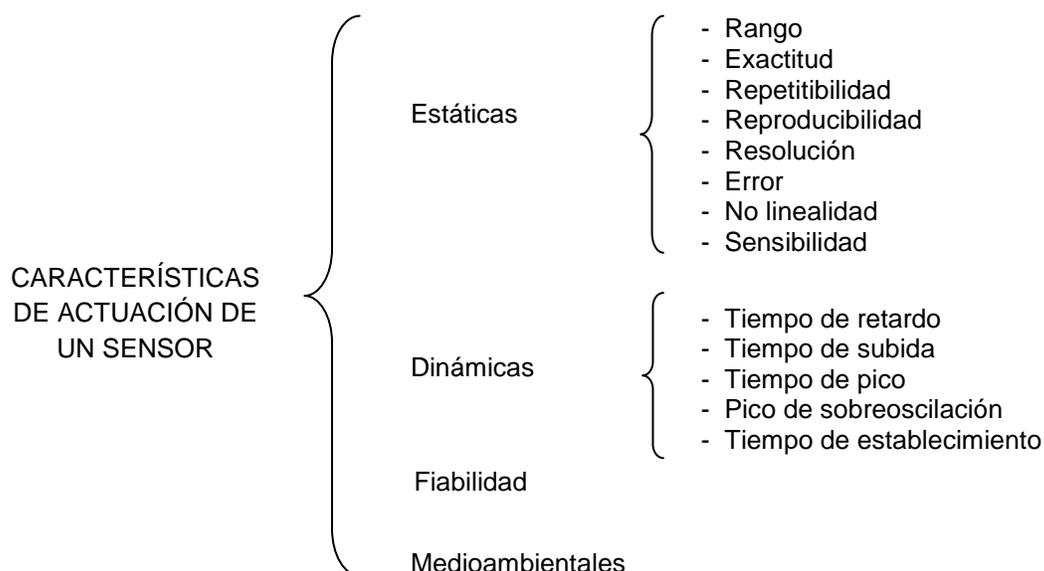
magnitud (Torres: 2002, 156). Siendo así un dispositivo que realiza la medición inicial y la conversión a la variable medida (EPN: 2003).

Los sensores trasladan la información desde el mundo real al mundo abstracto de los microcontroladores. Son los encargados de “vigilar” que las leyes del proceso se cumplan de acuerdo a los requerimientos exigidos. En efecto ellos son los que proveen información sobre temperatura, caudal, humedad y variables de otras magnitudes físicas que deben ser detectadas y controladas.

- **Características de actuación de un sensor**

Existen algunas condiciones que se deben tomar en cuenta en la selección de un sensor. Estos son: descriptores estáticos y dinámicos. En el siguiente diagrama se muestran las características mencionadas:

Diagrama 9. Características de actuación de un sensor



Fuente: Robots y sistemas sensoriales, 2002

De las características presentadas, depende el funcionamiento y eficiencia del sensor utilizado. Cabe destacar que los datos de referencia del sensor se presentan en mayor parte en las hojas de características de cada dispositivo, lo que facilita su identificación al momento de selección del mismo.

- **Tipos de sensores**

En general, la mayoría de los sensores pueden ser divididos en dos grandes grupos:

- *Sensores analógicos*

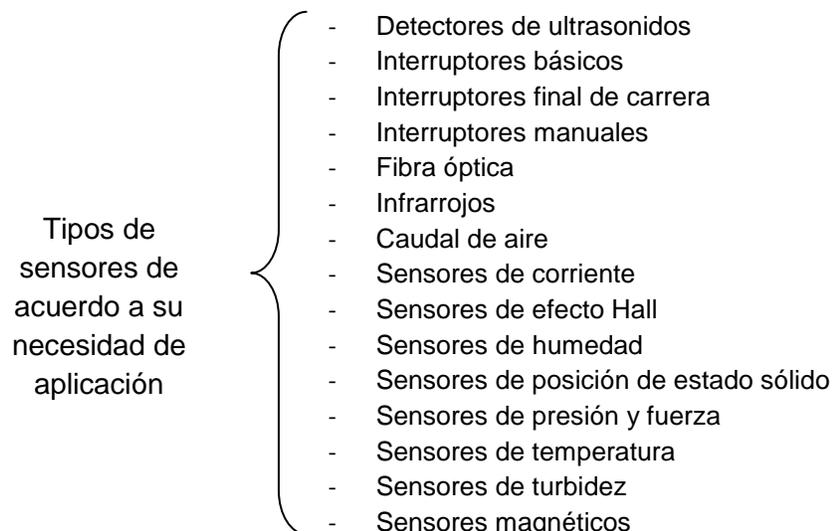
Es aquel que puede entregar una salida variable dentro de un determinado rango. La señal resultante entrega valores en cada instante de tiempo.

- *Sensores Digitales*

Es aquel que entrega una salida del tipo discreta. Es decir, la señal resultante, posee valores en ciertos instantes de tiempo. El sensor posee una salida que varía dentro de un determinado rango de valores, pero a diferencia de los sensores analógicos, esta señal varía de a pequeños pasos pre-establecidos.

A continuación se presentan algunos tipos de sensores utilizados comúnmente en el control de diferentes procesos, basados en diferentes principios de transducción.

Diagrama 10. Tipos de sensores



Fuente: Robots y sistemas sensoriales, 2002

- **Criterios generales para la selección de un sensor**

Para la selección de un dispositivo de medida de acuerdo a las condiciones requeridas, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla 10. Criterios para la selección de un sensor

CRITERIOS	ASPECTOS
Medida	<ul style="list-style-type: none"> - Magnitud y rango. - Condiciones del medio. - Características.
Sistema de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Naturaleza del sistema de datos. - Acondicionamiento de señal. - Precisión y características de respuesta.
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Satisfacción de requerimientos. - Disponibilidad en el mercado y con el tiempo.
Costo	<ul style="list-style-type: none"> - Precio. - Costos de instalación y mantenimiento.

Fuente: EPN, 2003.

2.8.5. ACTUADORES

Los actuadores son los elementos encargados de transformar una señal de control o la salida de un microprocesador en acciones controladas de una máquina o dispositivo (Torres: 2002). El empleo de los actuadores depende principalmente de la aplicación y el medio en el cuál se va a utilizar, para ello a continuación se presentan algunos tipos de actuadores existentes:

Tabla 11. Tipos de actuadores

ACTUADORES	TIPOS
ELÉCTRICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Motores de corriente continua (DC) - Motores de corriente alterna (AC) - Motores paso a paso
NEUMÁTICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindros neumáticos - Motores neumáticos
HIDRÁULICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindros hidráulicos - Motores hidráulicos

Fuente: Fundamentos de robótica, 2007.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el diseño e implementación del sistema de biodigestión tomando en cuenta las condiciones mencionadas en el capítulo anterior. La generación óptima del biogás dependerá de algunos aspectos como son: el tipo y cantidad de materia orgánica disponible, las condiciones climáticas del lugar en donde se realizará la instalación, el tipo de materiales utilizados para su construcción. Un aspecto importante a tomar en cuenta en este proyecto son los costos de construcción e implementación, dado que ha sido desarrollado específicamente para instalarse en el sector rural, y por esta razón hay que tratar de minimizar el costo final; esto implica la utilización de materiales adecuados y mano de obra, en lo posible disponibles a nivel local. De la misma manera, en este capítulo se desarrolla e implementa el sistema automático de control, utilizando sensores y actuadores necesarios para el control del proceso de producción de biogás.

3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA ZONA DE APLICACIÓN

Uno de los principales criterios que influyen en el diseño del sistema, es la selección de la zona de aplicación, para ello se ha considerado los datos de las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA), presentados en el SIISE 2008, con referencia al Censo Nacional Agropecuario del año 2000, así como las condiciones del medio.

Según SIGAGRO⁷, en el Ecuador existen alrededor de 882.842 unidades de producción agropecuaria, de este número 33.786 corresponden a la provincia de Imbabura, de las cuáles el 73,8% tienen acceso a electricidad, el 64% dispone de una Red de alcantarillado y el 62% servicio de recolección de basura. A nivel de Imbabura, es necesario mencionar que existe un total de 82.166 viviendas, de las cuáles el 46,76% se ubican en el sector rural. Tomando como referencia los datos presentados, se ha decidido que nuestro grupo meta sea una UPA del sector rural de la provincia de Imbabura, por presentarse necesidades de la población y las condiciones necesarias para la realización del proyecto. No obstante se considera la posibilidad de ampliar el proyecto a mayor escala para las diferentes provincias del Ecuador, al tratarse de un proyecto modelo.

De acuerdo a la información analizada, la construcción del biodigestor estará enfocada a cubrir necesidades energéticas a partir del biogás, obtenidas en pequeñas y medianas granjas y su posterior utilización del mismo, sea este para calefacción, combustión, iluminación dependiendo de las necesidades del medio a aplicarse y la materia prima disponible.

3.3. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA

Los criterios tomados en cuenta para la selección y desarrollo del sistema de biodigestión, se basan en los siguientes aspectos:

- Costos de desarrollo, implementación y mantenimiento.
- Capacidad de adaptación al medio y condiciones climáticas.
- Facilidad de manejo y operación.
- Eficiencia en la producción de biogás y productos derivados.
- Control de las variables intervinientes en el proceso para mayor rendimiento (temperatura, presión, nivel, gas metano).
- Seguridad.

⁷ Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria. Datos basados en el III Censo Nacional Agropecuario 2000.

De acuerdo a las características, ventajas y desventajas de los distintos tipos de biodigestores analizados en el capítulo anterior y Anexo 1, el diseño a desarrollarse no corresponde a ninguno de los presentados, debido a que las condiciones pretendidas para nuestro diseño no se adaptan a ninguno de ellos. Por esta razón, el diseño propuesto, incluye aspectos relevantes de cada uno y podría considerarse una mezcla de los tipos de biodigestores de flujo semi-continuo, tipo Hindú, flujo horizontal y completamente mezclado. Además, la propuesta incluye mejoras en el diseño de la estructura y materiales para una mayor vida útil, así como la incorporación de un sistema de control automático para efectivizar el proceso de producción de biogás.

Para el diseño del sistema y el establecimiento de los índices de producción, primeramente se realizarán los cálculos necesarios, considerando los siguientes aspectos:

- La cantidad de materia prima disponible y necesaria para la producción de biogás.
- La cantidad de energía que se espera obtener para cubrir las necesidades del lugar de aplicación.

Antes de realizar los cálculos para el diseño del biodigestor, es necesario conocer algunos conceptos indispensables para el efecto.

3.3.1 VOLUMEN DE CARGA

Representa el volumen total de material orgánico diluido con el agua necesaria, ya listo para ser introducido al biodigestor.

3.3.2 VOLUMEN DEL BIODIGESTOR

Es el espacio ocupado por la biomasa en digestión, representa el volumen efectivamente útil para realizar la biodigestión anaeróbica y, su capacidad está

determinada por el consumo de biogás necesaria para satisfacer las diferentes necesidades energéticas, o en función de la cantidad de sustrato.

3.3.3. TIEMPO DE RETENCIÓN

Indica el tiempo conveniente que debe dejarse el material dentro del biodigestor, para que en las condiciones ambientales del lugar pueda degradarse. Se calcula dividiendo el volumen (útil) del biodigestor por el volumen de la carga diaria, en consecuencia se expresa el valor en días.

3.3.4. VOLUMEN DEL DEPÓSITO DE BIOGÁS

Es el valor máximo de almacenamiento de biogás que puede contener este reservorio y su capacidad dependerá de las necesidades particulares y está en función del consumo diario, es decir del uso particular del biogás generado.

3.3.5. VELOCIDAD DE CARGA

Representa la cantidad de materia orgánica que se introduce por unidad de volumen de biodigestor por día, [Kg sólidos. m³/día]. Este parámetro determina la capacidad de tratamiento de residuos del biodigestor y el rendimiento en biogás en función de la temperatura.

3.4. VARIABLES DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para calcular el volumen de biogás producido por un digestor se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

3.4.1. MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE

Es la cantidad de residuo orgánico que produce la fuente en Kg./día. Proviene de animales tales como estiércol de vacas, ovejas, caballos, cerdos, aves de corral, cultivos agrícolas o aguas residuales, fibras vegetales como papa, maíz, soya, fréjol o yuca, etc.

3.4.2. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE GAS METANO (P_{CH_4})

Es el volumen de metano producido por masa de sólidos volátiles en [$m^3 \cdot CH_4/kg$ SV]. Los valores referenciales en la producción de metano, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12. Potencial de producción de gas metano (P_{CH_4}) de algunos residuos

RESIDUO ORGÁNICO	P_{CH_4} [$m^3 CH_4/kg$ SV]
Vaca	0.2
Res	0.35
Desecho Municipal	0.2
Cerdo	0.45
Gallina	0.39
Aguas Negras	0.406

Fuente: WWF, 2003

3.4.3. SÓLIDOS TOTALES (ST)

Corresponde a la materia orgánica seca, sin humedad. Valores promedio de TS de algunos sustratos se muestran en la Tabla 13.

3.4.4. CONTENIDO DE SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)

Es la parte del total de sólidos que se puede transformar en biogás. Valores promedio de SV de algunos sustratos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Características de la materia orgánica utilizada en la biodigestión anaeróbica

No.	Fuente	W_A	T	ST	SV	N_p	P_p	K_p	ST/T	SV/ST
1	Vaca	500	86	12	10	0.45	0.094	0.29	14%	83%
2	Toro	500	58	8.5	7.2	0.34	0.092	0.21	15%	85%
3	Becerro	40	62	5.2	2.3	0.27	0.066	0.28	8%	44%
4	Cerdo	70	84	11	8.5	0.52	0.18	0.29	13%	77%
5	Oveja	60	40	11	9.2	0.42	0.087	0.32	28%	84%
6	Chivo	50	41	13	--	0.45	0.11	0.31	32%	0%
7	Caballo	400	51	15	10	0.3	0.071	0.25	29%	67%
8	Gallina	2.2	85	22	17	0.84	0.3	0.3	26%	77%
9	Roedor	2	64	16	12	1.1	0.3	0.4	25%	75%
10	Pavo	8	47	12	9.1	0.62	0.23	0.24	26%	76%
11	Pato	3	110	31	19	1.5	0.54	0.71	28%	61%

Fuente: ASAE Standard D384.1 DEC93; American Society of Agricultural Engineers.

Donde:

W_A = Peso promedio del animal en Kg.

T = Cantidad total de residuo (estiércol) promedio en Kg. por cada 1000 Kg de peso del animal.

ST = Contenido promedio de sólidos totales en Kg. por cada 1000Kg de peso del animal.

SV = Contenido promedio de sólidos volátiles en Kg. por cada 1000Kg de peso del animal.

N_p = Contenido promedio de nitrógeno en gramos por Kg de sustancia.

P_p = Contenido promedio de fósforo en gramos por Kg de sustancia.

K_p = Contenido promedio de potasio en gramos por Kg de sustancia.

ST/T = Porcentaje de ST sobre el total de estiércol.

SV/ST = Porcentaje de sólidos volátiles sobre sólidos totales.

3.4.5. VOLUMEN DE GAS METANO PRODUCIDO (V_{CH_4})

Es el volumen de metano que se obtiene de un biodigestor alimentado con una masa orgánica para ciertas condiciones de tiempo de retención TR y temperatura TC . Esto se obtiene de forma empírica según la aplicación de las siguientes formulas⁸:

Ecuación 3. Volumen de Metano producido

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * \left(1 - \frac{K_o}{U_o * TR - 1 + K_o} \right) \text{ [m}^3\text{.CH}_4\text{/día]}$$

Ecuación 4. Descomposición de sólidos volátiles en el tiempo

$$K_o = 0.6 + 0.0006 * e^{(0.1185 * SV)}$$

Ecuación 5. Crecimiento de la producción de metano con el cambio de temperatura

$$U_o = 0.013 * TC - 0.129 \quad \text{[m}^3\text{/día]}$$

Donde:

K_o = Descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo, además es una cantidad adimensional.

U_o = Crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura por día. [m³/día]

TR = Tiempo de retención [Días]

T = Temperatura. [°C]

⁸ Chen, Y.R; Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig manure and its Design Implications; Agricultural Wastes 8; 1983. Thomas, M.v. & R.A. Nordstedt; Trans ASAE 36 (2).

3.5. CÁLCULO DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para calcular el porcentaje de CH₄ y CO₂ producido es necesario partir desde la cantidad de materia prima a procesar.

La cantidad de materia prima disponible en la granja, corresponde a un valor de 7 Kg. estiércol/ día. Basándose en los datos establecidos en la Tabla 13 se determina lo siguiente:

3.5.1. PESO TOTAL DE LOS ANIMALES (W_A)

Ecuación 6. Peso total de los animales (W_A)

$$T = W_A * \frac{86 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal.}}$$

Despejando W_A y reemplazando valores se tiene:

$$W_A = \frac{7 \text{ Kg} * 1000 \text{ Kg de animal}}{86 \text{ Kg}}$$

$$W_A = 81.39 \text{ Kg} \approx 81 \text{ Kg.}$$

3.5.2. SÓLIDOS TOTALES (TS)

Ecuación 7. Sólidos totales (TS)

$$ST = W_A * \frac{12 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal.}}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$ST = 81 \text{ Kg} * \frac{12 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal.}}$$

$$ST = 0.97 \text{ Kg/día.}$$

3.5.3. SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)

Ecuación 8. Sólidos volátiles (SV)

$$SV = W_A * \frac{10 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal.}}$$

Remplazando valores se tiene:

$$SV = 81 \text{ Kg} * \frac{10 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal.}}$$

$$SV = 0.81 \text{ Kg/día}$$

3.5.4. VOLUMEN DE BIOGÁS

Según la Tabla 13, el potencial de producción de metano P_{CH_4} , correspondiente a estiércol de origen vacuno es $0.2 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4\text{/Kg VS]}$ y considerando diversas temperaturas del digestor que van desde 15°C hasta 35°C , se procederá a calcular la producción de metano aplicando las ecuaciones 3, 4 y 5 respectivamente.

Seleccionamos un valor de temperatura de 30°C y un tiempo de retención de 30 días, remplazando valores en las ecuaciones anotadas se tiene:

Para $T=30^\circ\text{C}$ y $TR=30$ días

Valor de U_0

$$U_0 = 0.013 * 30 - 0.129$$

$$U_0 = 0.261$$

Valor de K_0

$$K_0 = 0.6 + 0.0006 * e^{(0.118 * 30,81)}$$

$$K_0 = 0.6006$$

Valor de V_{CH_4}

$$V_{CH_4} = 0.2 * 0.81 * \left(1 - \frac{0.6006}{0.261 * 30 - 1 + 0.6006} \right)$$

$$V_{CH_4} = 0,14 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4\text{/día]}$$

En la siguiente tabla se presenta los datos tabulados para diversos valores de tiempo de retención y temperatura.

Tabla 14. Estimación en la producción de metano para diferentes TR y T

T°C	K	U	V CH4 TR = 25 días	V CH4 TR = 30 días	V CH4 TR = 35 días
15	0,6007	0,066	0,084	0,100	0,111
16	0,6007	0,079	0,100	0,113	0,121
17	0,6007	0,092	0,111	0,121	0,128
18	0,6007	0,105	0,118	0,127	0,132
19	0,6007	0,118	0,124	0,131	0,136
20	0,6007	0,131	0,128	0,134	0,139
21	0,6007	0,144	0,132	0,137	0,141
22	0,6007	0,157	0,134	0,139	0,143
23	0,6007	0,17	0,137	0,141	0,144
24	0,6007	0,183	0,139	0,143	0,146
25	0,6007	0,196	0,140	0,144	0,147
26	0,6007	0,209	0,142	0,145	0,148
27	0,6007	0,222	0,143	0,146	0,149
28	0,6007	0,235	0,144	0,147	0,150
29	0,6007	0,248	0,145	0,148	0,150
30	0,6007	0,261	0,146	0,149	0,151
31	0,6007	0,274	0,147	0,150	0,151
32	0,6007	0,287	0,148	0,150	0,152
33	0,6007	0,3	0,148	0,151	0,152
34	0,6007	0,313	0,149	0,151	0,153
35	0,6007	0,326	0,149	0,152	0,153

Fuente: Autor

El método para determinar el porcentaje de CH₄, CO₂ y biogás, se establece en función de la tabla anterior. Para lo cual se seleccionan los siguientes datos experimentales: TR = 30 días y T = 30° C, a partir de estos valores se obtiene los siguientes resultados:

$$\text{Volumen de CH}_4 = 0,149 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4\text{/día]}$$

Basándose en la condición de que el biogás está formado por 60% de CH₄ y 40% CO₂, se tiene:

Ecuación 9. Volumen de CO₂ en el sustrato

$$\text{Volumen de CO}_2 = \frac{0,149 \times 0,4}{0,6} \left[\frac{\text{m}^3 \text{CH}_4}{\text{día}} \right]$$

$$\text{CO}_2 = 0.099 \text{ [m}^3 \text{ CH}_4\text{/día]}$$

Ecuación 10. Volumen de biogás

$$\text{Volumen de biogás} = \text{CH}_4 + \text{CO}_2$$

$$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 0,149 + 0.099 \text{ [m}^3 \text{ Biogás/día]}$$

$$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 0,248 \text{ [m}^3 \text{ Biogás/día]}$$

3.6. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

3.6.1. ELEMENTOS DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN

Los principales elementos que componen el sistema de biodigestión son los siguientes:

- Tanque de carga de material
- Tanque de agua
- Tanque de descarga de material

- Biodigestor
- Depósito de biogás
- Conductos de carga y descarga
- Motor agitador
- Tubería de conducción de biogás
- Sistema electrónico y de control
- Accesorios

3.6.2. VOLUMEN DEL BIODIGESTOR (V_D)

Es importante conocer que el estiércol contiene un gran porcentaje de agua, que oscila entre 80 - 90%. Razón por la cual se puede asumir que 1Kg. de residuo equivale a 1litro de agua. Sin embargo, es necesario conocer las relaciones entre el sustrato y el agua dependiendo de la fuente proveedora.

Según Martí (2008): “La relación adecuada de la cantidad de materia orgánica y agua es de 1:1, es decir, que por cada cantidad de materia orgánica añadida, se debe añadir una cantidad de agua”. Por lo tanto la cantidad de sustrato que ingresa al digestor es la suma del agua más el estiércol.

El volumen del digestor se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Volumen del biodigestor

$$V_D = ST \times TR \times F_d$$

Donde:

V_D = Volumen del digestor [m^3].

ST = Cantidad de estiércol que ingresa al digestor [Kg. /día].

TR = Tiempo de retención en días.

F_d = Factor de dilución del residuo: 2=1 de agua+1 de residuo; 3=2 de agua+1 de residuo, etc.

Para realizar el cálculo correspondiente se considera la relación 1:1 para la mezcla de materia orgánica y agua. Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 11, se tiene:

$$E = \text{Estiércol/día} = 7 \text{ Kg/día.}$$

$$F_d = 2$$

$$TR = 30 \text{ días}$$

Reemplazando valores, tenemos:

$$V_D = 7 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 2 * 30 \text{ días} * \frac{1 \text{ l}}{1 \text{ Kg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$V_D = 0,42 \text{ m}^3 \approx 420 \text{ cm}^3$$

El volumen del biodigestor V_D calculado, se basa en el tiempo de retención de la materia orgánica de 30 días al interior del biodigestor.

De acuerdo al dato obtenido, se ha seleccionado un tanque para el biodigestor con una capacidad de 500 cm^3 . Siendo necesario considerar también el nivel de materia en el biodigestor, para nuestro caso, si consideramos una carga de 420 cm^3 a un tiempo retención de 30 días, tendremos ocupado el 84% del depósito, con lo cual se dispone de un espacio libre para remoción de material y capacidad de carga del 16%.

3.6.3. PRESIÓN ATMOSFÉRICA AL INTERIOR DEL BIODIGESTOR

Un aspecto necesario para la selección del material del biodigestor, es el valor de la presión interna. Tomando en cuenta que el material a seleccionarse, debe resistir la presión calculada.

A continuación, se realiza el cálculo de la máxima presión que se ejerce sobre el biodigestor, para lo cual aplicamos la ecuación 2, presentada en el anterior capítulo:

$$P_1 = P_0 + \Delta P$$

Desarrollando la fórmula tenemos:

Ecuación 12. Presión atmosférica

$$P_1 = P_o + \rho g h_L$$

Donde:

$$g = \text{Gravedad} = 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$h_L = \text{Altura del liquido}$$

$$\rho_{H_2O} = \text{Densidad del sustrato} \approx [1000 \text{ Kg/m}^3]^9$$

Para calcular la altura del líquido, se realiza el siguiente análisis: Si el tanque a utilizarse tiene una capacidad total de 500 [cm³], una altura de 0,82 [m], y el volumen a los 30 días es de 420 [cm³], entonces:

Ecuación 13. Altura del sustrato en el biodigestor

$$h_s = \frac{420[l] \times 0,82[m]}{500[l]}$$

$$h_s = 0,68 \text{ [m]}$$

Reemplazando valores en la ecuación 12, tenemos:

$$P_h = 980 \text{ [Pa]} + 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} \times 0.68[m]$$

$$P_h = 980 + 6670,8 \text{ [Pa]}$$

$$P_h = 7650,8 \text{ [Pa]} \approx 7,65 \text{ [KPa]}$$

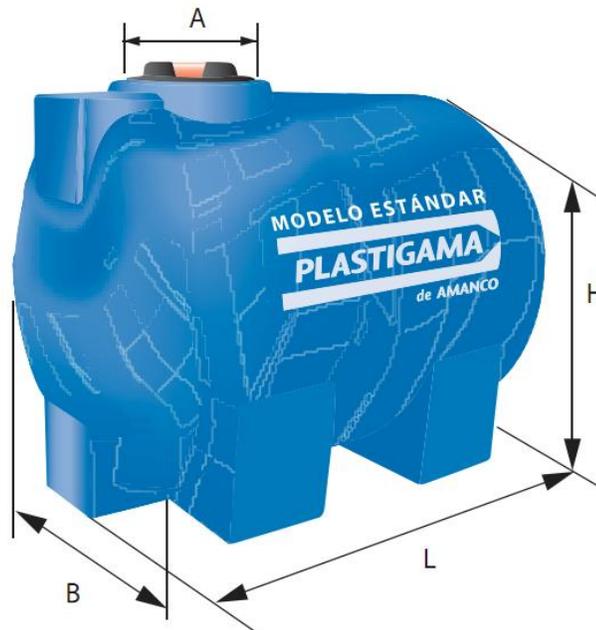
⁹ La densidad del sustrato se considera igual a la densidad del agua = 1000 Kg/m³

A partir del valor de la presión hidrostática obtenida, se procede a la selección del tanque de polietileno, tomando en cuenta el valor de 7,65 KPa de resistencia mínima a la tensión del material.

El tanque de polietileno idóneo para la construcción del biodigestor, es un tanque con capacidad de 500 [l], y con una resistencia a la tensión equivalente a la requerida. En el Anexo 2, se presentan las características y criterios de selección del material y el tanque.

En la siguiente figura, se representa el dimensionamiento del tanque seleccionado para la construcción del biodigestor:

Figura 11. Tanque y dimensiones del biodigestor



Capacidad [litros]	B [mm]	L [mm]	H [mm]	A [mm]
500	1073	1110	820	201,45

3.6.4. VOLUMEN Y DIMENSIONAMIENTO DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS

Según Martí (2008:29): “El volumen gaseoso equivale a un tercio del volumen líquido”, a lo cual se dice que el volumen del depósito de biogás equivale a la tercera parte del volumen del tanque del sustrato.

Por lo tanto el cálculo es el siguiente:

$$V_D = V_L = 0,42 \text{ m}^3 = 100\%$$

Ecuación 14. Volumen del depósito de biogás

$$V_G = V_D * \frac{1}{3}$$

Donde:

V_D = Volumen del digestor (calculado anteriormente)

V_G = Volumen del depósito de biogás

V_L = Volumen del líquido

Remplazando valores en la fórmula anterior se tiene:

$$V_G = 0,42 \text{ m}^3 * \frac{1}{3}$$

$$\mathbf{V_G = 0,14 \text{ m}^3}$$

El depósito para el almacenamiento del Biogás será externo al biodigestor, por cuanto debe tener el volumen calculado de 0,14 m³.

A partir del cálculo obtenido, se puede determinar las dimensiones del depósito. El material utilizado en este caso es el polietileno tubular, cuyas características y criterios para su selección se pueden observar en el Anexo 3.

A continuación se realizará el cálculo para el diámetro y longitud del depósito.

Ecuación 15. Diámetro del depósito de biogás

$$P_G = \pi * D_G \text{ [m]}$$

Donde:

P_G = Perímetro

D_G = Diámetro de la membrana de polietileno

Despejando D_G en la ecuación anterior y reemplazando valores se tiene:

$$D_G = P_G / \pi \text{ [m]}$$

$$D_G = 0.14 / \pi \text{ [m]}$$

$$\mathbf{D_G = 0,44 \text{ [m]}}$$

Para el cálculo de la longitud del depósito (L_G), se realiza mediante fórmulas matemáticas y geométricas aplicadas para el calcular el volumen de un cilindro.

Ecuación 16. Volumen de un cilindro

$$V_G = A_G * L_G \text{ [m}^3\text{]}$$

Ecuación 17. Área de un cilindro

$$A_G = \pi * \frac{D_G^2}{4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Reemplazando la ecuación 17 por A_G en la ecuación 16 y despejando L_G , se tiene:

Ecuación 18. Longitud del depósito de biogás

$$L_G = \frac{4 * V_G}{\pi * D_G^2} \text{ [m]}$$

Donde:

V_G = Volumen real del digestor.

A_G = Área de una sección circular del digestor.

L_G = Longitud del digestor.

Remplazando valores en la ecuación 18, se tiene:

$$L_G = \frac{4 * 0,14}{\pi * (0,44)^2} \text{ [m]}$$

$$L_G = 0,92 \text{ [m]}$$

Por lo tanto la longitud y diámetro del depósito de polietileno a usar en la construcción del depósito será de:

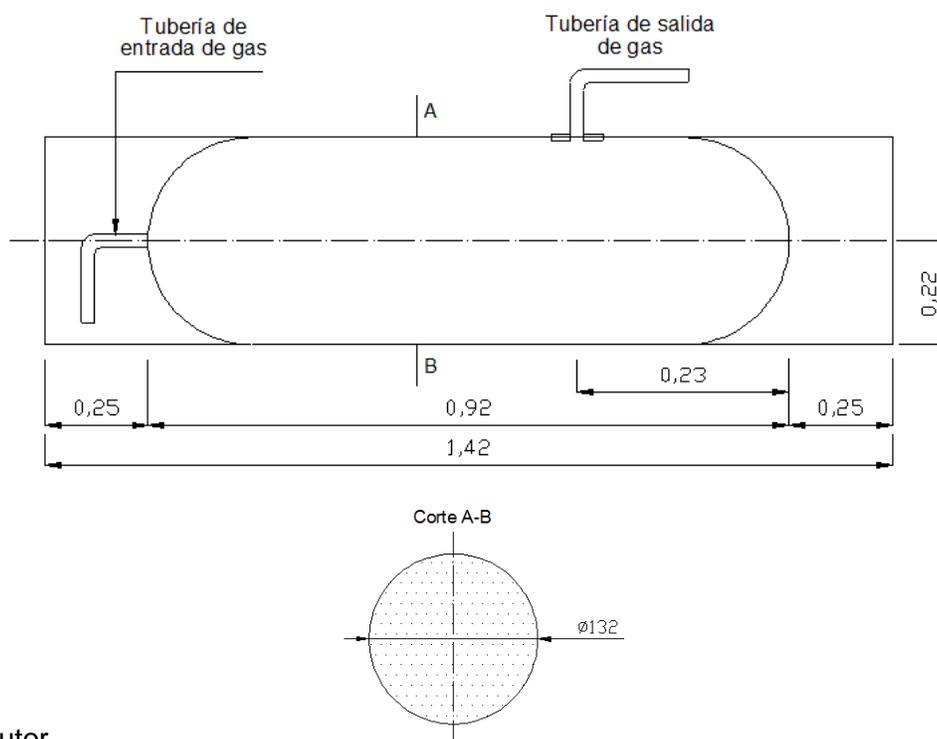
$$L_G = 0,92\text{m}$$

$$D_G = 0,44\text{m}$$

Cabe mencionar que para efectos de sellado de los extremos del polietileno tubular según Martí (2008): “Se recomienda aumentar el valor de medio metro a la longitud calculada”. Por lo tanto el valor real de la longitud del polietileno será de 1,42 m.

En la siguiente figura, se muestra las dimensiones del depósito de biogás diseñado.

Figura 12. Dimensiones del depósito del biogás diseñado



Fuente: Autor

3.6.5. VOLUMEN DE LOS TANQUES DE CARGA Y DESCARGA DE MATERIAL

Los tanques de carga y descarga permiten almacenar el sustrato antes y después de entrar y salir del biodigestor. De acuerdo a Martí (2008): “El tanque de carga puede ser diseñado para tres veces la carga diaria, cuyo propósito es tener la suficiente capacidad de almacenamiento en caso de un problema con el digestor u otro componente de la planta”. El tanque de carga por lo general tiene dos compartimientos y sus entradas respectivas, el primero para contener el estiércol recogido y el segundo para el sustrato que va a ingresar al digestor de acuerdo a la relación mezcla y agua.

Para el cálculo de volumen de los tanques de carga y descarga se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 19. Volumen del tanque de carga

$$V_{TC} = 3 * Q_D [m^3]$$

Donde:

V_{TC} = Volumen del tanque de carga [m^3].

Q_D = Carga diaria

Reemplazando valores en la ecuación 19, se tiene:

$$V_{TC} = 3 * 14 [l]$$

$$\mathbf{V_{TC} = 42 [l]}$$

El tanque estará ubicado a diferente nivel del reactor para que pueda ingresar el sustrato por gravedad. En este tanque se implementará un pequeño sistema para mezclado manual del sustrato; esto permitirá la mezcla previa del agua y la materia orgánica. A la salida del tanque se colocará una válvula, para controlar el ingreso de material al biodigestor.

Para la construcción de los tanques de carga y descarga, se ha seleccionado un tanque de polietileno con capacidad de 60 [l]. En el siguiente gráfico, se representa el modelo para los tanques de carga y descarga.

Figura 13. Tanque de carga y dimensiones



Capacidad [litros]	Alto [mm]	Diámetro [mm]
60	620	340

Fuente: www.plastigama.com.ec

Para que el sustrato fluya por gravedad hacia el digestor por medio de la tubería de conducción, se estima una altura entre los 10 y 15 cm por encima del nivel del digestor, valores que dependen de la superficie de instalación.

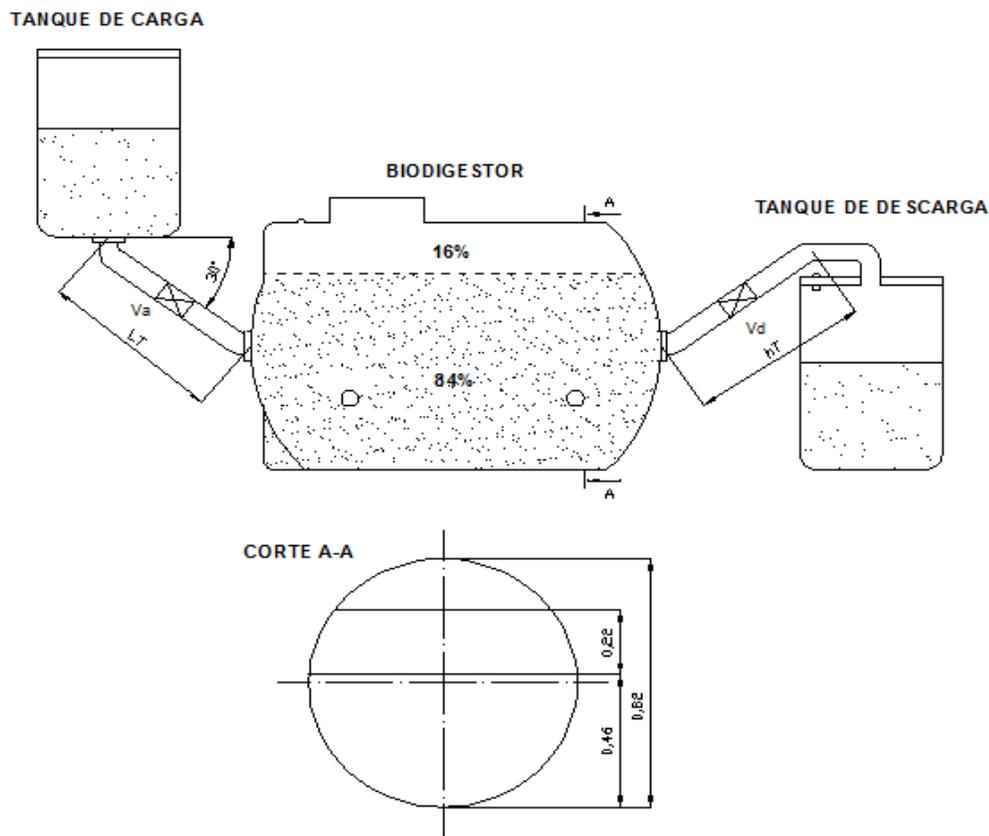
El **tanque de descarga** tendría las mismas dimensiones del tanque de carga; debido a que la cantidad de materia que sale es relativamente igual a la que ingresa al digestor. La ubicación del tanque estará al nivel del biodigestor, y permitirá la recolección del biofertilizante.

3.6.6. TUBERÍA DE CARGA Y DESCARGA DE MATERIAL

La tubería de ingreso hacia el biodigestor será bajo ciertos factores de diseño: fácil mantenimiento y reparación, bajo costo, liviano, impermeable, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, no tóxico, entre otros factores secundarios.

Basándose en las condiciones del medio a instalarse el sistema, se ha determinado las dimensiones de la tubería de ingreso y salida del material. Estas tuberías tienen una inclinación de 30° respecto a la horizontal; dicha inclinación permitirá al sustrato fluir por gravedad hacia el digestor sin problemas. En la siguiente figura se presenta el sistema de biodigestión y las características de las tuberías de carga y descarga.

Figura 14. Dimensionamiento de las tuberías de carga y descarga de sustrato [m]



Fuente: Autor

El tanque de carga se ubicará sobre el nivel del sustrato del biodigestor con el 84% de materia con una altura de 0,68 [m] y la unión de la tubería se ubicará a una altura de 0,46 [m]. Por lo tanto, para el dimensionamiento de las tuberías se ha tomado en cuenta la altura a la cuál estarán ubicadas. Realizando tales consideraciones se tiene:

Ecuación 20. Longitud de las tuberías de carga y descarga de sustrato

$$h_T = h_S - h_U$$

$$h_T = 0,68 - 0,46$$

$$h_T = 0,22 \text{ [m]}$$

$$L_T = \frac{h_T}{\sin 30}$$

$$L_T = \frac{0,22}{\sin 30} \text{ [m]}$$

$$\mathbf{L_T = 0,44 \text{ [m]}}$$

Donde:

h_T = Altura de la tubería

h_S = Altura del sustrato al 84%

h_U = Altura de la unión tubería - biodigestor

L_T = longitud del tubo de carga [m]

Para el conducto de descarga se utilizan las mismas consideraciones, tomando en cuenta que la salida del efluente debe estar a la altura del nivel del biodigestor completamente lleno con el 84% de material a procesar.

Realizados los cálculos pertinentes, la tubería seleccionada para la conexión de los tanques de carga y descarga de material, con el biodigestor, será de tubo de PVC de 2,5 pulgadas, tomando en cuenta las condiciones del material y el tiempo de vida útil. En la siguiente figura se presenta la tubería seleccionada.

Figura 15. Tubería de entrada y salida de material



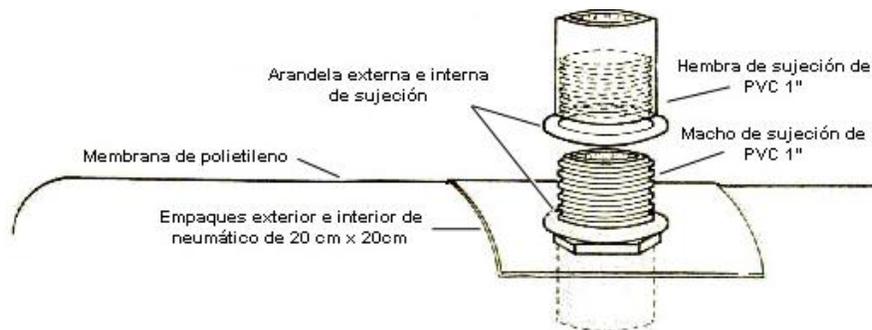
Fuente: Autor

3.6.7. TUBERÍA DE SALIDA DE BIOGÁS

Es de importancia dimensionar la tubería de salida de biogás generado, su hermeticidad y el material que sea óptimo para el transporte. Para lo cual se considera que el dimensionamiento de la tubería está relacionado con el consumo de biogás.

Para la salida del biogás se lo puede conducir a través de tubería de polietileno dado que posee un recubrimiento interno con poca rugosidad, de esta manera permite el paso fácil del gas, en lo posible la tubería no debe estar enterrada en la tierra con el fin de evitar la condensación en el interior del tubo, además se debe evitar las ondulaciones, ya que esto puede facilitar la acumulación de agua obstruyendo la salida del biogás. En base a las condiciones mencionadas, se ha considerado pertinente que la tubería de salida del gas debe tener un diámetro de $\frac{1}{2}$ " pulgada.

Figura 16. Acoples para la tubería de salida de gas del biodigestor



Fuente: Autor

De acuerdo al gráfico anterior se observa que el biodigestor tiene un acople entre el polietileno y la tubería de salida, para lo cual el tanque del digestor debe ser perforado con un diámetro de $\frac{1}{2}$ " pulgada. Se acopló también un empaque, de goma de neumático (2-3 mm de espesor), de esta manera se forma un sello mecánico evitando cualquier fuga. Finalmente este mismo procedimiento se realizó en la parte superior del biodigestor; cabe indicar que la unión entre el cuerpo del reactor y la tubería de salida se realizó entre acoples de PVC hembra - macho.

Por motivos de maniobrabilidad, seguridad, costos, el material a usar fue tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, al igual que codos, tees y demás accesorios. En la siguiente figura, se observa la tubería de salida de gas implementada al sistema.

Figura 17. Tubería de salida de gas



Fuente: Autor

3.6.8. VÁLVULA DE ALIVIO

Es importante señalar que a medida que comienza el proceso de digestión metanogénica, va a existiendo incremento de la presión interna en el biodigestor. Básicamente el aumento de presión se produce por la generación de gases, la misma que se controlará por medio de una válvula de alivio para mantener un flujo constante y una presión interna adecuada evitando posibles daños en el polietileno.

La válvula de alivio, está formada por un recipiente que almacena agua en su interior, con un agujero que permita la salida del biogás en el caso de haber acumulación excesiva en el reservorio o el mismo digester. Además de lo mencionado, se debe colocar lana de acero para eliminar el ácido sulfhídrico (SH_2) del biogás, debido a que es un gas venenoso y altamente corrosivo para superficies metálicas, ocasionando envejecimiento de la instalación y disminuyendo la vida útil. El dispositivo de seguridad también permite retener la humedad proveniente del gas generado.

Figura 18. Ubicación de las válvulas de seguridad y control del biogás



Fuente: Autor

3.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control es el encargado de llevar el control del proceso de producción de biogás, obtener la información requerida de los dispositivos sensores, procesar en la unidad de control y ejecutar acciones a través de los actuadores para corregir cualquier falla. También realizar tareas de manejo de distintos dispositivos, que permiten la automatización del sistema como válvulas de ingreso y descarga de agua.

3.7.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El desarrollo del sistema de control permite llevar un proceso controlado en la producción del biogás, evaluando permanentemente un fallo o problema, para ello

se han utilizado sensores que miden los parámetros de presión, temperatura, nivel, gas metano entre otras, los cuales envían señales al sistema de control, mismo que a su vez remite una respuesta inmediata a los actuadores para la respectiva corrección. De esta manera se consigue efectivizar el proceso y la producción deseada en óptimas condiciones.

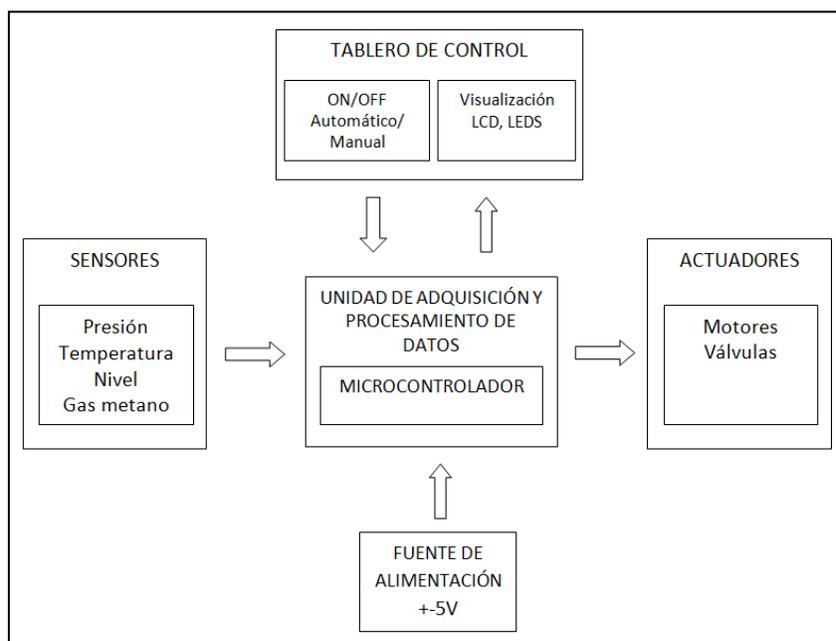
El sistema de control ha sido diseñado de acuerdo a las necesidades del medio de aplicación, con posibilidades de ampliación.

El procedimiento realizado por el sistema de control es el siguiente:

- a) Adquirir información de los diferentes sensores en el sistema de biodigestión.
- b) Procesar y controlar la información en el microcontrolador.
- c) Transmitir una señal a los actuadores para la corrección del fallo, si este fuera el caso.

En el siguiente diagrama de bloques se presenta el proceso de adquisición y procesamiento de datos en el sistema de control.

Diagrama 11. Diagrama de bloques del sistema de control completo



Fuente: Autor

3.7.2. MICROCONTROLADOR, FUNCIONES Y CARÁCTERÍSTICAS

La unidad más importante en el desarrollo del sistema de control es el microcontrolador, ya que es el encargado de procesar y supervisar el cumplimiento de las condiciones establecidas para el buen funcionamiento del proceso. La construcción de la interfaz, se la realizó utilizando el microcontrolador 16F877A de Microchip. Las razones por las cuáles se seleccionó este microcontrolador, se presentan a continuación:

El sistema de control se lo dividió en dos partes, para mayor facilidad de manejo en procesos diferentes.

- **Puertos requeridos**

Para la adquisición de datos y control del proceso de producción de biogás se necesita:

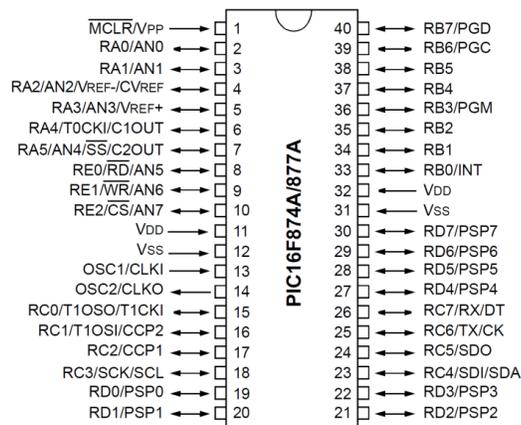
- Ingresar los datos provenientes de los sensores de temperatura del sustrato, presión y temperatura del biogás, presencia de gas metano.
- Selector de casos para variable de visualización.
- Interfaz para la pantalla LCD 16x4.
- Salida para accionamiento del motor agitador.
- Selector para accionamiento manual del motor agitador.

Para la adquisición de datos y control del proceso de carga y descarga de agua, y nivel de los tanques de biodigestión y descarga, se necesita:

- Ingresar los datos provenientes de los sensores de temperatura y nivel de agua, nivel máximo de los tanques de biodigestión y descarga.
- Activación de las válvulas de carga y descarga de agua.
- Interfaz para la pantalla LCD 16x2.
- Activación del calentador de agua.

De acuerdo a las necesidades expuestas anteriormente, se constituye un total de 8 pines para el primer sistema y 8 pines para el segundo sistema; además cabe mencionar que en los dos sistemas, se utiliza el recurso de conversor analógico a digital del microcontrolador, debido a la señal que entregan los sensores. En la siguiente figura, se presenta la distribución de pines del microcontrolador 16F877A.

Figura 19. Diagrama del microcontrolador 16F877A



Fuente: Hoja de datos, Microchip PIC16F877A

En la siguiente tabla se detallan los pines del microcontrolador 16F877, así como las características de cada función:

Tabla 15. Descripción de los periféricos del microcontrolador PIC 16F877

Periférico	PIC16F877	Características
3 a 5 Puertos Paralelos	PortA, B,C,D,E	con líneas digitales programables individualmente
3 Timers	Timer0	Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador de 8 bits
	Timer1	Contador/Temporizador de 16 bits con pre-escalador
	Timer2	Contador/Temporizador de 8 bits con pre-escalador y post-escalador de 8 bits y registro de periodo
2 módulos CCP	Captura	16 bits, 1.5 nseg de resolución máxima
	Comparación	16 bits, 200 nseg de resolución máxima
	PWM	10 bits
1 Convertidor A/D	AN0,...,AN7	de 10 bits, hasta 8 canales
Puertos Serie	SSP	Puerto Serie Síncrono
	USART/SCI	Puerto Serie Universal
	ICSP	Puerto serie para programación y depuración "in circuit"
Puerto Paralelo Esclavo	PSP	Puerto de 8 bits con líneas de protocolo

Fuente: Hoja de características PIC 16F877A.

- Otros pines:
 - VDD: Pin de alimentación positiva, de 2 a 5,5 Vcc
 - VSS: Pin de alimentación negativa. Se conecta a tierra o a 0 Vcc.
 - MCLR: Master Clear (Reset). Si el nivel lógico de este terminal es bajo (0 Vcc), el microcontrolador permanece inactivo. Esta opción se controla en la configuración del PIC.
 - OSC1/CLKIN: Oscilador
 - OSC2/CLKOUT: Oscilador

- **Memoria**

Es una parte fundamental en el desarrollo del sistema de control. De acuerdo a las características del programa desarrollado, la memoria de programa permite guardar las instrucciones del mismo, la memoria de datos permite generar y mantener los datos que se obtengan de las respectivas instrucciones. De la cantidad de memoria que posee el microcontrolador dependen las instrucciones que se desarrollan en el programa, en nuestro caso para el manejo de los datos provenientes de los diferentes sensores del sistema.

A continuación se detallan las características de memoria que posee el microcontrolador PIC 16F877:

- Memoria de programa: 8K x 14 bits
- Memoria de datos: 368 bytes de memoria de datos (RAM)
- Memoria EEPROM: 256 bytes

- **Convertor Analógico – Digital**

Este recurso del microcontrolador se utiliza, en vista de la necesidad de realizar la transformación de las señales provenientes de los sensores del sistema (temperatura, presión, gas metano), mismos que entregan una señal de salida analógica, y para su posterior manejo necesita una conversión a señal digital. Este microcontrolador posee esta característica útil, siendo así que dispone de ocho canales de conversión y convierten así una señal analógica en un número digital de 10 bits.

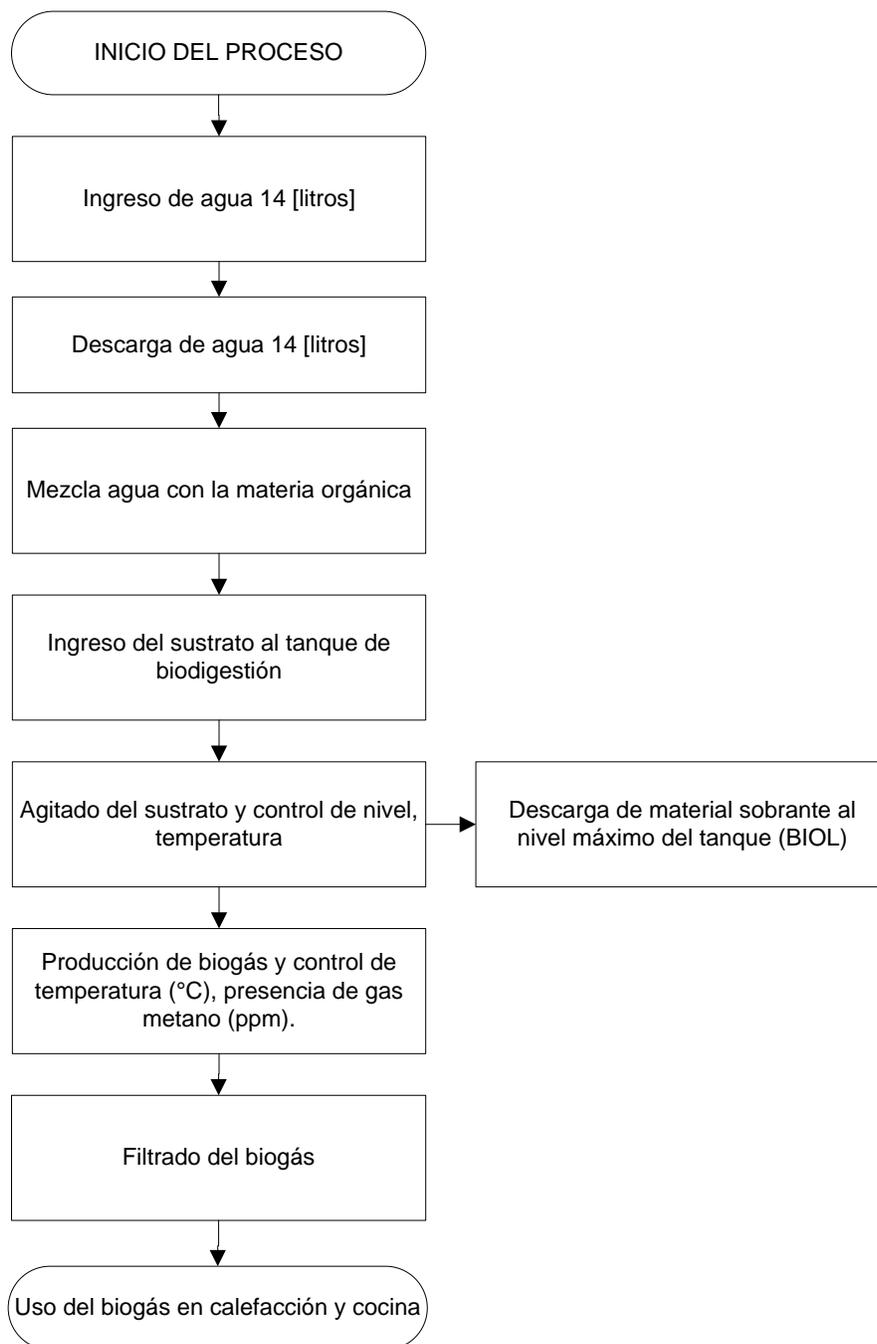
- **Programación**

La programación del microcontrolador se ha realizado en lenguaje C, utilizando el software PICC. Las razones por las cuáles se utilizó este lenguaje de alto nivel, fueron las siguientes:

- Permite hacer un programa para un PIC en concreto y utilizarlo en otro de mayores prestaciones sin modificar apenas nada del código fuente.
- Simplicidad de escribir un programa, ya que dispone de una amplia librería de funciones predefinidas y comandos de procesado.
- El compilador CCS permite desarrollar programas en C, enfocado específicamente a los microcontroladores PIC.
- Los programas realizados en lenguaje C, son compilados mediante un software especial, mismo que lo transforma en lenguaje máquina, para ser cargado del PC al PIC.

3.7.3. DIAGRAMAS DE FLUJO PARA EL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR

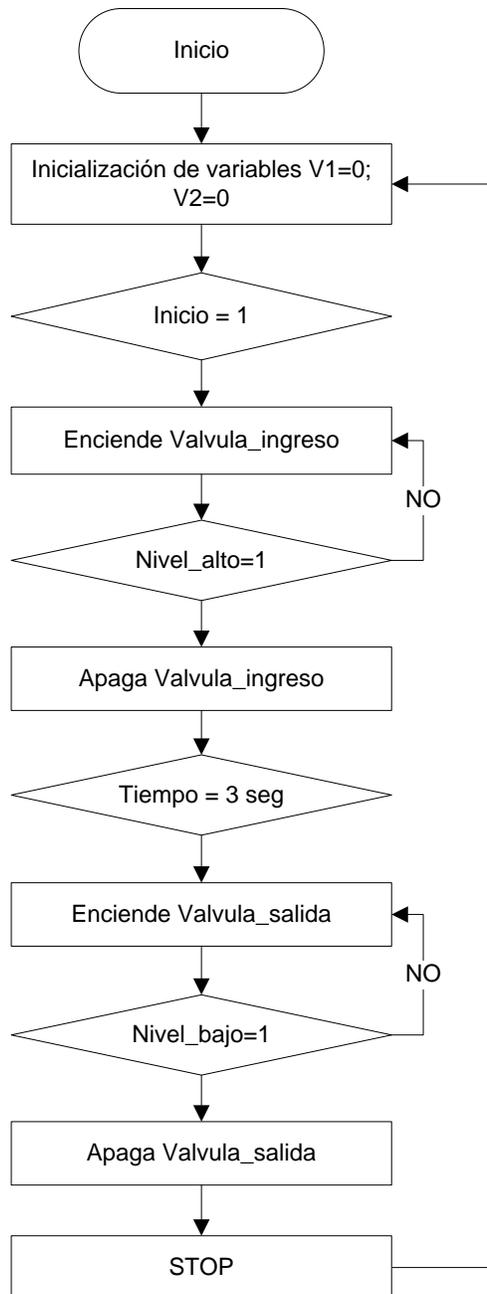
El proceso de funcionamiento del programa del microcontrolador, se presenta en los siguientes diagramas. El código fuente, se encuentra en el Anexo 6.

Diagrama 12. Diagrama general del proceso de obtención del biogás

Fuente: Autor

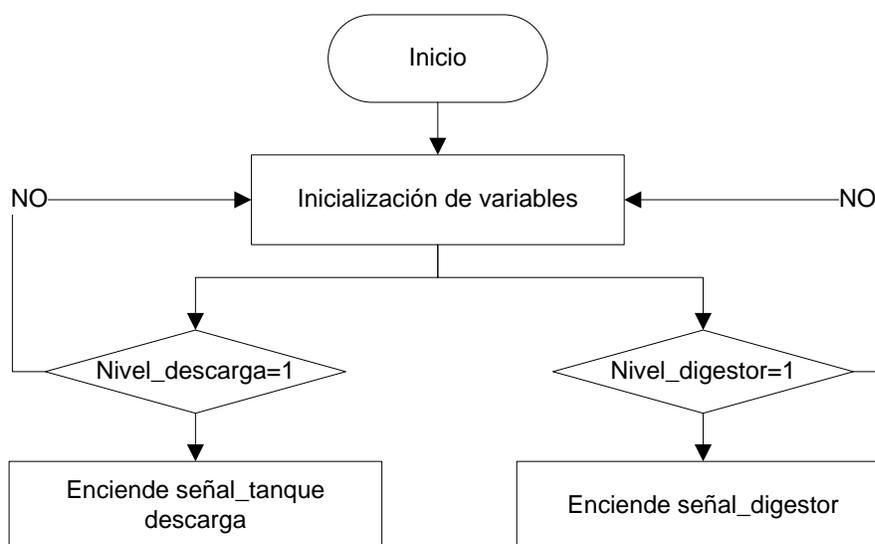
En el siguiente diagrama, se muestra el proceso para el control del tanque de agua. Las variables controladas son: el ingreso y salida de agua, nivel, temperatura.

Diagrama 13. Diagrama de flujo para el control del tanque de agua



En el diagrama siguiente, se presenta el proceso para el control del nivel máximo del tanque de biodigestión y del tanque de descarga de material. Se realizó esta subrutina, dada la necesidad de conocer cuando los tanques mencionados se encuentran a su máxima capacidad de almacenamiento del sustrato.

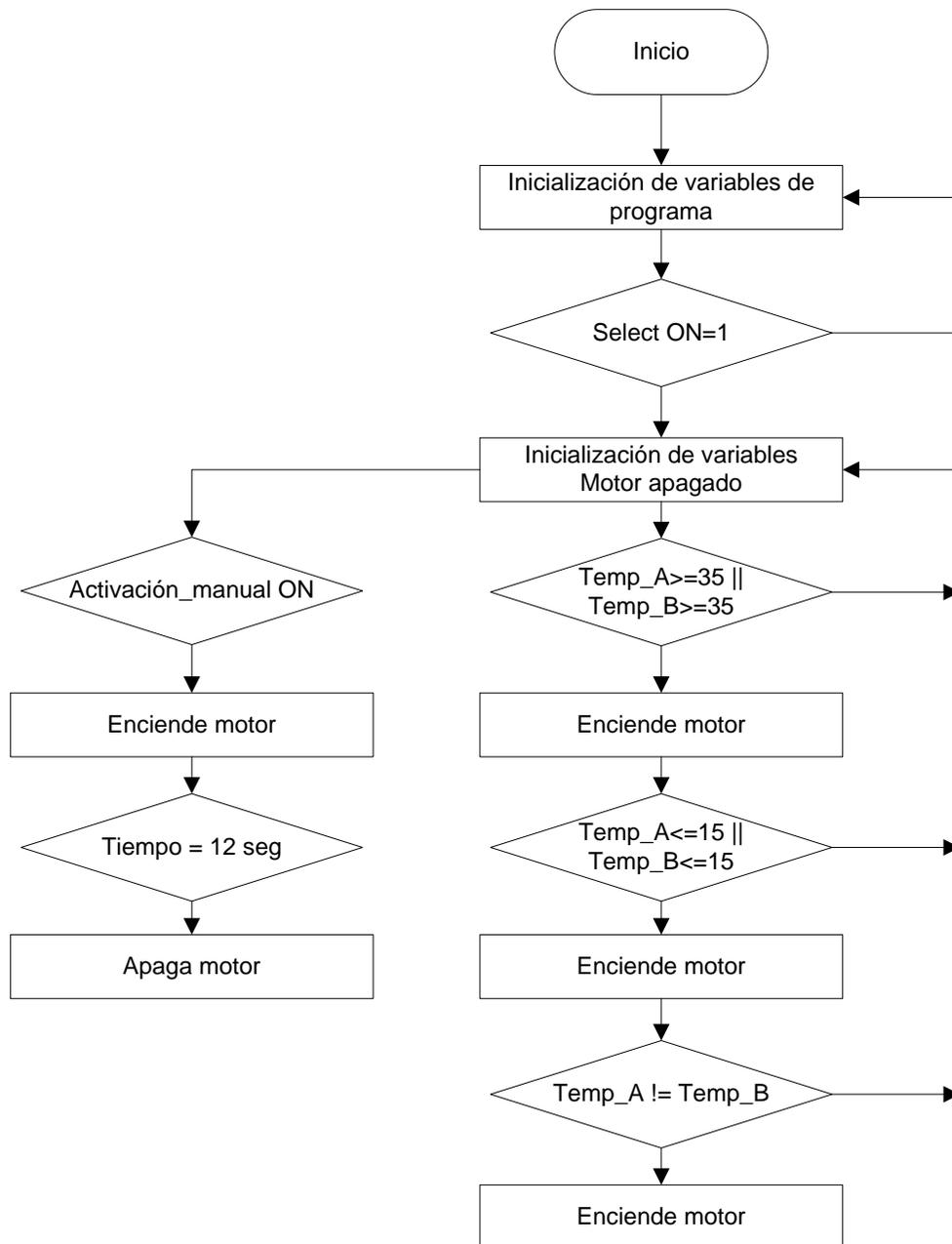
Diagrama 14. Diagrama de flujo para el control de nivel del biodigestor y tanque de descarga de material



Fuente: Autor

A continuación, en el diagrama se detalla el proceso, para el control de la temperatura del sustrato en el tanque de biodigestión. Esta subrutina, es quizás una de las más importantes a controlar durante el proceso de producción de biogás, por cuanto la temperatura del sustrato debe mantenerse uniforme y no debe existir variación en la misma, para que exista una óptima producción deseada.

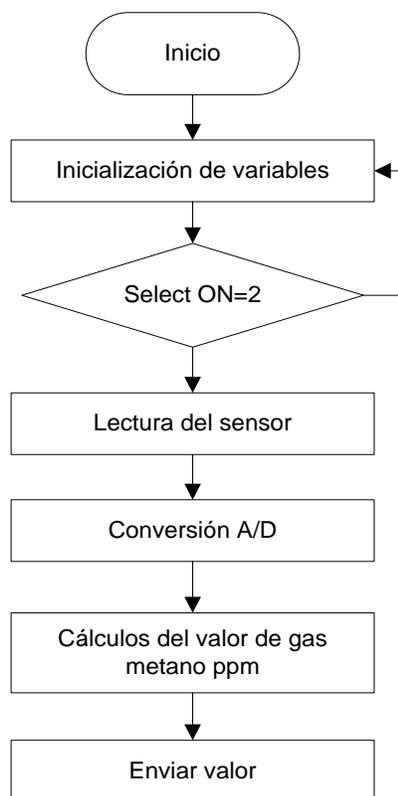
Diagrama 15. Diagrama de flujo para el control de la temperatura del sustrato en el biodigestor



Fuente: Autor

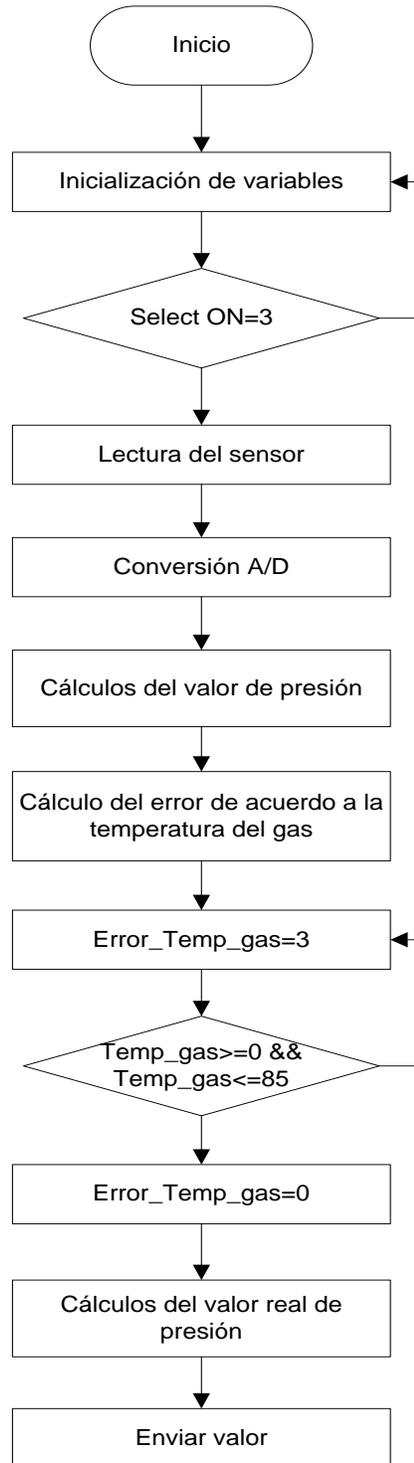
En el diagrama 16, se representa el control para la presencia de gas metano. A través de este control, se permite conocer realmente el avance en la proceso y a su vez si ha existido una variación en la producción de gas.

Diagrama 16. Diagrama de flujo para el control de la presencia de gas metano



Fuente: Autor

En el siguiente diagrama, se representa el proceso para el control de la presión de biogás. Esta variable es necesaria conocer en la producción, dado el caso de que exista sobre-presión en el tanque de almacenamiento de gas, o a su vez también para poder determinar la presencia de gas, en función de la presión existente.

Diagrama 17. Diagrama de flujo para el control de la presión del biogás

Fuente: Autor

3.7.4. FUENTE PRINCIPAL DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA

El consumo de corriente del sistema es aproximadamente 0.5 Ah, incluida el consumo de los sensores. En este sentido, es importante mencionar su bajo consumo de corriente, siendo este un aspecto importante, dadas las condiciones del lugar de implementación y pensando en aplicaciones futuras en lugares remotos en donde no existe el servicio de energía eléctrica, siendo así que la fuente de energía se pudiera reemplazar por paneles solares.

El tipo de fuente utilizada para este proyecto, tiene las siguientes características:

- Salida de corriente de 1 A.
- Entrada de voltaje 110 VAC.
- Salida de voltaje 5 VDC.

3.7.5. FUENTE DE ALIMENTACIÓN ALTERNATIVA DE ENERGÍA PARA EL SISTEMA

Con la finalidad de prevenir daños en el sistema o paradas en el control del proceso a causa de fallas en la energía eléctrica de la red, se ha diseñado e implementado un sistema autónomo de energía emergente con base en la energía solar.

El sistema de alimentación de energía emergente consta de:

- Paneles solares
- Batería recargable de 1,4 Ah para el almacenamiento de energía
- Circuito regulador y controlador de carga

La fuente alternativa de energía provee de voltaje 5 VDC y corriente 1,4 Ah, necesarios solo para el funcionamiento del sistema de control y la toma de las lecturas de los sensores, debido a la capacidad de los paneles solares. La corriente y voltaje entregados no son suficientes para la activación de los actuadores, dado que estos funcionan con un voltaje de 110 VAC y para ello sería necesaria la utilización de paneles solares y batería de mayor capacidad, y de un inversor de voltaje DC – AC, siendo así que esto sería motivo de una investigación futura.

Con la implementación de esta fuente alternativa de energía se asegura que el sistema de control permanecerá funcionando siempre sin ninguna interferencia por falla energética.

3.7.6. MÓDULO DE CONTROL DEL TANQUE DE AGUA Y NIVEL DE LOS TANQUES DE BIODIGESTIÓN Y DESCARGA

El funcionamiento del tanque de agua es la primera etapa del proceso a controlar, siendo está una parte esencial, ya que se regulará la cantidad de agua que posteriormente se mezclará con la materia orgánica.

a) Descripción del procedimiento de control

El proceso de funcionamiento, aplicado en el diseño de las rutinas de instrucción para el microcontrolador, se lo presentó en el diagrama 13. Sin embargo a continuación, se detallará específicamente en qué consiste el control.

Luego del encendido del sistema, pulsada la señal de inicio del proceso y tomando en cuenta una señal efectuada por un sensor de nivel bajo, se activará la válvula de ingreso de agua, misma que permanecerá encendida hasta que se active la señal de nivel alto de agua. Luego de un tiempo de tres segundos se encenderá la válvula de drenaje de agua, que igual permanecerá encendida hasta que el sensor de nivel bajo entregue una señal. En el interior del tanque se ha instalado también un sensor para la medición de la temperatura del agua.

Todo el proceso, se lo visualiza en una pantalla LCD de 16x2, para una mayor interacción usuario – sistema.

b) Variables controladas y sensores empleados

Las variables medidas y los sensores utilizados para el control del sistema son las siguientes:

- **Sensor de temperatura LM35**

Este sensor, entrega el valor de temperatura del agua.

El sensor LM35, es un circuito integrado de precisión para medir temperatura, presenta las siguientes características:

- Está directamente calibrado en grados centígrados.
- La salida es lineal y entrega un valor en escala de +10mV/°C.
- Rango de funcionamiento de -55°C a +150°C.
- Adecuado para aplicaciones remotas.
- Bajo costo.
- Opera desde 4 a 30 Voltios.
- Corriente de drenaje: menos de 60 μ A.
- Impedancia de salida 0.1 W para 1 mA.

- **Válvulas de ingreso y drenaje de agua**

Las válvulas son los actuadores encargados del ingreso y drenaje de agua, de acuerdo a las señales entregadas por los sensores de nivel bajo y alto de agua.

Para esta aplicación, se ha seleccionado válvulas con accionamiento electromagnético de 110-120 VAC, utilizadas comúnmente en las lavadoras de ropa. Las razones para su selección fueron su costo y facilidad de instalación.

Figura 21. Válvula para ingreso y drenaje de agua

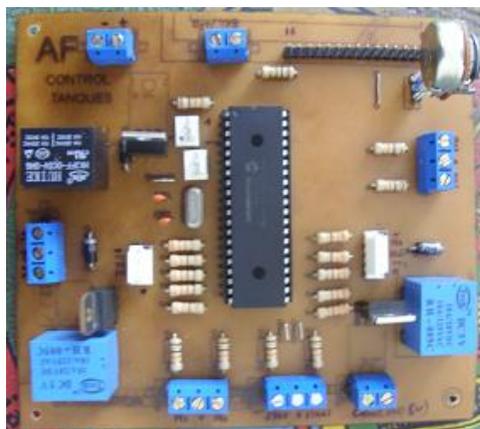


Fuente: Autor

d) Implementación del módulo de control y dispositivos

En la siguiente figura se muestra el circuito desarrollado, encargado del control del tanque de agua, con base en el microcontrolador PIC 16F877.

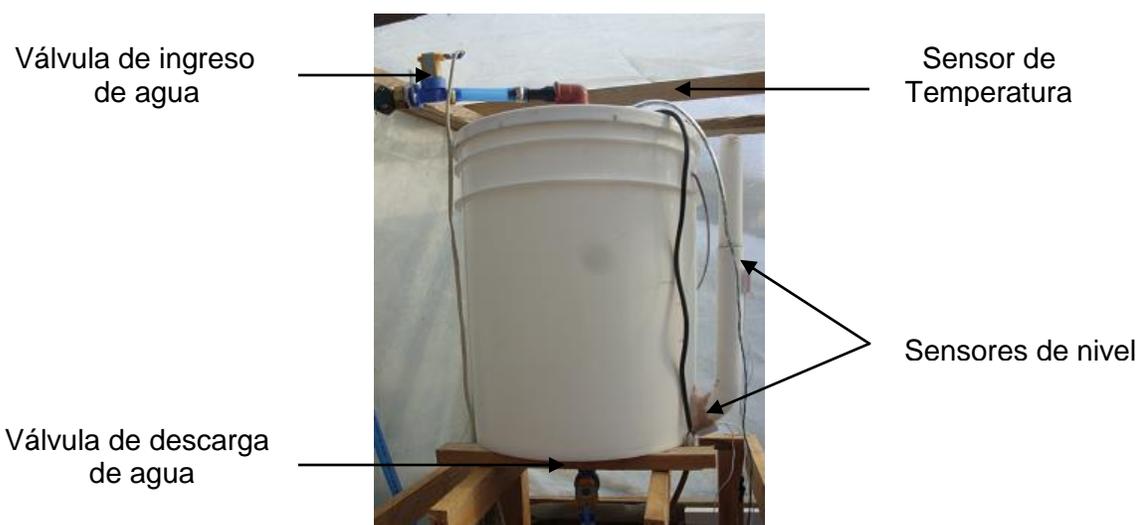
Figura 22. Circuito de control del tanque de agua



Fuente: Autor

Los sensores y actuadores implementados al tanque de agua, se presenta en la siguiente figura.

Figura 23. Sensores y actuadores implementados al tanque de agua



Fuente: Autor

3.7.7. MÓDULO DE CONTROL DEL BIODIGESTOR

El módulo de control del tanque de biodigestión es la parte central del proceso y de su funcionamiento depende la eficiencia en la producción. Las variables a controlar aquí son la temperatura y nivel máximo de sustrato.

a) Descripción del procedimiento de control del biodigestor

El proceso de funcionamiento, aplicado en el diseño de las rutinas de instrucción para el microcontrolador, se lo presentó anteriormente en los diagramas 13 y 14. Sin embargo a continuación, se detallará específicamente en qué consiste el control.

Luego del mezclado de la materia orgánica con el agua en relación 1:1, el sustrato ingresa al biodigestor de manera manual, por medio de la apertura y cierre de llaves de paso manejadas por el usuario. Al ingresar la materia nueva al biodigestor y encontrarse con la materia existente, inicia un proceso de mezcla del sustrato, mismo que lo realiza un motor agitador incorporado al sistema. El control tiene sentido en la medida de la temperatura a través de dos sensores LM35, ubicados en dos puntos estratégicos del biodigestor a una altura de 34 cm sobre la base del tanque y a una distancia entre cada uno de 43 cm. La altura se estableció dado que a ese nivel se encuentra al 50% de la cantidad de sustrato y siendo allí donde se concentra la temperatura media del mismo. Estos sensores detectaran cambios en la temperatura del sustrato entre un rango menor a 15°C y/o mayor a 35°C, enviarán una señal al sistema de control, que a su vez enviarán una señal de salida para el accionamiento del motor agitador, con el fin de repartir la temperatura uniforme al sustrato.

Otro control que se realiza en el biodigestor es la medida de nivel, cuyo proceso se lo explica en el diagrama 11. El sensor de nivel máximo enviará una señal al microcontrolador, en caso de pensar que el nivel de sustrato se encuentre al máximo establecido 80%, enviará una señal de activación a un dispositivo indicador.

b) Variables controladas y sensores empleados

Las variables medidas y los sensores utilizados para el control del sistema son las siguientes:

Tabla 17. Variables y sensores para el control del biodigestor

Variable	Sensor
Nivel de sustrato	Flotador Pulsador normalmente cerrado
Temperatura	LM35

Fuente: Autor

En la siguiente figura, se pueden apreciar los sensores.

Figura 24. Sensores de nivel y temperatura

a) Sensor flotador de nivel



b) Sensor de temperatura LM35



c) Pulsador NC

Fuente: Autor, hojas de datos LM35 y <http://www.shoptronica.es>

c) Características de los sensores y actuadores

A continuación se detallan las características de sensores y su función en el sistema.

○ Sensor flotador de nivel

Este sensor consta de un dispositivo flotador, mismo que al subir el nivel de sustrato a un máximo del 80%, enviará una señal al sistema. Se realizó una adaptación a este sensor, incorporándolo de un pulsador normalmente cerrado para obtener una señal de accionamiento eléctrico.

○ Sensor de temperatura LM35

Estos sensores, serán los encargados de controlar la temperatura del sustrato en el rango de 15-35°C, enviarán una señal al sistema de control, para el accionamiento del motor agitador.

Las características del sensor se explican anteriormente en el módulo de control del tanque de agua.

- **Motor agitador**

El motor agitador utilizado fue un Motor Craftsman, comúnmente utilizado para la apertura y cierre de porteros eléctricos. En la figura 26, se aprecia el motor. Las razones por las que se seleccionó este motor fueron:

- Potencia de ½ HP
- Reductor de velocidad
- Sistema integrado de cambio de giro
- Costo
- Facilidad de conseguir en el mercado
- Peso de 39,9 lbs.

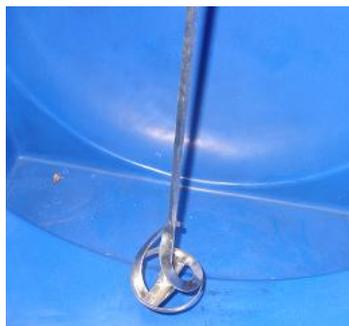
Figura 25. Motor Craftsman para el sistema de agitado



Fuente: www.craftsman.com

A este motor, se lo incorporó un eje con paletas para que cumpla su función de agitador del sustrato. En la siguiente figura, se muestra el eje agitador acoplado al sistema.

Figura 26. Agitador implementado en el sistema



Fuente: Autor

El biodigestor con sus componentes implementados se presenta en la siguiente figura.

Figura 27. Sensores y actuadores implementados al tanque digestor



Fuente: Autor

3.7.8. CONTROL DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE BIOGAS

El control del tanque de almacenamiento se encuentra incorporado en el módulo de control del biodigestor. Consta de sensores que permiten el control de las variables en el biogás producido luego del proceso de biodigestión.

a) Descripción del procedimiento de control del depósito de biogás

El proceso de funcionamiento, aplicado en el diseño de las rutinas de instrucción para el microcontrolador, se presenta en los diagramas 16 y 17. Sin embargo a continuación, se explica las variables controladas.

Para el control se han empleado sensores de presión, temperatura y presencia de gas metano. Estos enviarán una señal al sistema de procesamiento, mismo que luego del tratamiento de la misma, enviará los datos resultantes a una interfaz, para que sea visualizada por el usuario. Este procedimiento permite al usuario llevar un registro la producción y presencia de gas.

b) Variables controladas y sensores empleados

Las variables medidas y los sensores utilizados para el control del sistema son las siguientes:

Tabla 18. Variables y sensores para el control del depósito de biogás

Variable	Sensor
Presencia de gas metano	Sensor MQ-4
Temperatura de gas	Termistor 10 KOhms
Presión de gas	Sensor MXP4115

Fuente: Autor

En la siguiente figura, se aprecian los sensores utilizados.

Figura 28. Sensores de Gas metano, Temperatura y Presión



a) Sensor MQ-4



b) Sensor MPX4115



c) Termistor

Fuente: Autor

c) Características de los sensores y actuadores

A continuación se detallan las características de sensores y su función en el sistema.

o Sensor MQ-4

Este sensor mide la presencia de gas metano en partes por millón y su aplicación es con el objetivo de llevar un registro de producción de gas metano a través de sus datos.

El sensor MQ-4 posee una alta sensibilidad al gas metano, también propano y butano. Este sensor puede ser utilizado para detectar diferentes gases combustibles, especialmente metano. Su costo es bajo y se adapta para diferentes aplicaciones.

- Especificaciones técnicas

Tabla 19. Condiciones de trabajo estándar

Símbolo	Parámetro	Condición técnica	Observaciones
Vc	Voltaje de circuito	5V±0.1	AC o DC
VH	Voltaje de calentamiento	5V±0.1	AC o DC
PL	Resistencia de carga	20KΩ	
RH	Resistencia de calentamiento	33Ω±5%	
PH	Consumo de calentamiento	Menos de 750mW	

Fuente: Hoja de datos del sensor MQ-4

Tabla 20. Condiciones ambientales

Símbolo	Parámetro	Condición técnica	Observaciones
Tao	Temperatura de uso	-10°C-50°C	
Tas	Temperatura de almacenamiento	-20°C-70°C	
RH	Humedad relativa	Menos de 95% Rh	
O2	Concentración de oxígeno	Puede afectar la sensibilidad	Valor mínimo sobre 2%

Fuente: Hoja de datos del sensor MQ-4

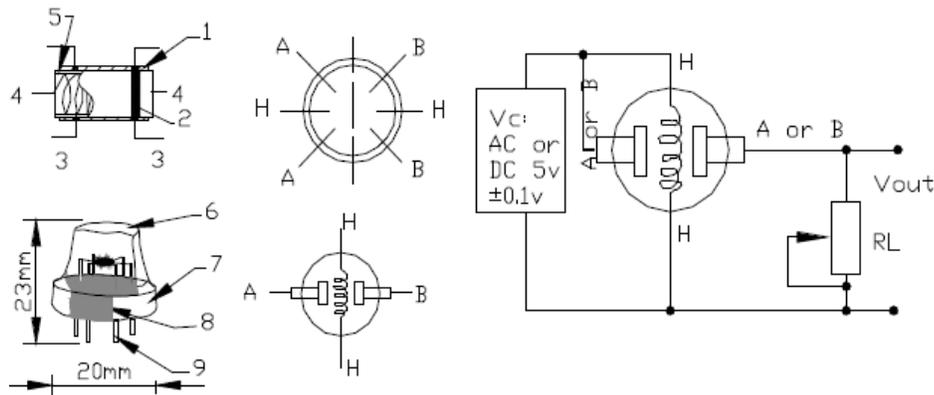
Tabla 21. Características de sensibilidad del sensor MQ-4

Símbolo	Parámetro	Condición técnica	Observaciones
Rs	Resistencia de detección	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH4)	Entre 200 - 10000 ppm CH4

Fuente: Hoja de datos del sensor MQ-4

- *Estructura y configuración, circuito de medida básico*

El circuito para el manejo del sensor consiste en dos partes, la primera es el circuito calentador y la segunda es el circuito de señal de salida, este puede responder a los cambios de resistencia de superficie del sensor con precisión.

Figura 29. Estructura y circuito básico del sensor MQ-4

Fuente: Hoja de datos del sensor MQ-4

- *Principio de operación*

La Resistencia de sensibilidad (R_s), es obtenida a través de la siguiente relación:

Ecuación 21. Resistencia de sensibilidad del sensor MQ-4

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{RL} - 1} \right) \times R_L$$

Donde:

V_c : Voltaje del circuito

V_{RL} : Voltaje en la resistencia de carga

R_s : Resistencia de sensibilidad

R_L : Resistencia de carga

La Potencia de sensibilidad (P_s) del sensor que entrega el valor en partes por millón de presencia de gas metano, se calcula a través de la siguiente relación:

Ecuación 22. Potencia de sensibilidad del sensor MQ-4

$$P_s = \frac{V_c^2 \times R_s}{(R_s + R_L)^2}$$

Donde:

P_s : Potencia de sensibilidad

V_c : Voltaje del circuito

R_s : Resistencia de sensibilidad

R_L : Resistencia de carga

○ Sensor de presión MPX4115

Las características del sensor MPX4115, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22. Características de sensibilidad del sensor MPX4115

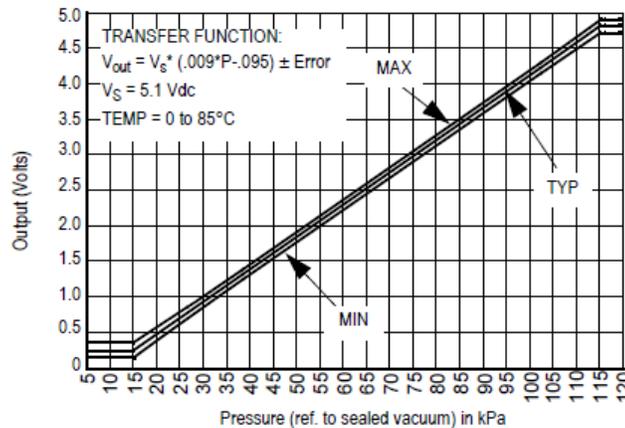
Pop	Rango	15 a 115 [kPa]
Vs	Voltaje de alimentación	4,85 – 5,35 [V]
Io	Corriente de alimentación	7 [mA]
tr	Tiempo de respuesta	1[mseg]
	Precisión	± 1,5 [%Vffs]
	Estabilidad Offset	± 0,5 [%Vffs]
	Temperatura operación	0 – 85 [°C]

Fuente: Hoja de características del sensor MPX4115

Este sensor cuenta con un acondicionamiento interno que entrega un voltaje normalizado de 0-5 V, además de una compensación por temperatura.

A continuación, se muestra la curva de comportamiento del sensor:

Figura 30. Salida [V] vs. Presión [kPa]



Fuente: Hoja de características del sensor MPX4115

El error de presión y el factor de temperatura vienen definidos por el fabricante. El error de presión se sitúa en ± 1.5 y el factor de temperatura varía entre 1 y 3 según la temperatura. Este factor hace que sea necesario medir la temperatura de trabajo, es por ello que se utilizará una NTC.

La ecuación para calcular la presión con una V_s de 5V y un error de presión de ± 1.5 es la siguiente:

Ecuación 23. Presión del sensor MPX4115

$$P_s = \frac{0,475 + V_{out}}{0,045} \pm 1.5 \times FT$$

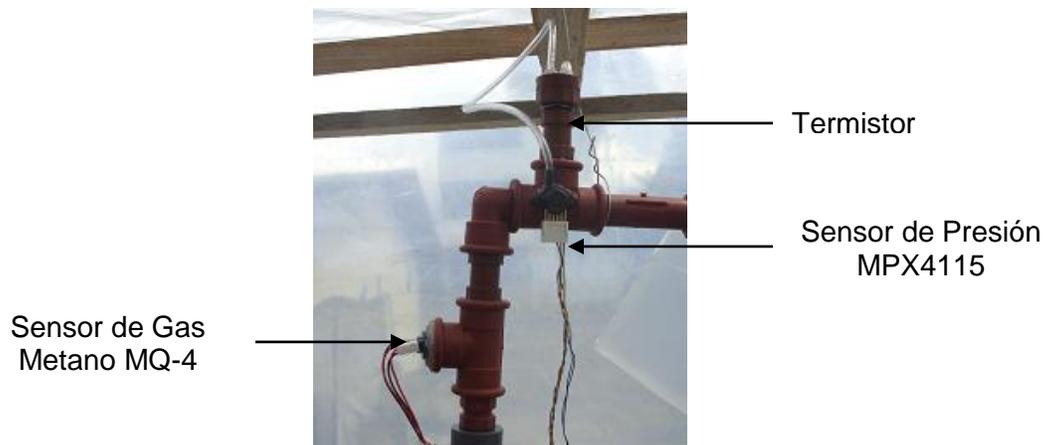
Donde:

P_s : Presión del sensor

FT : Factor de temperatura

Los sensores implementados al sistema se presentan en la siguiente figura:

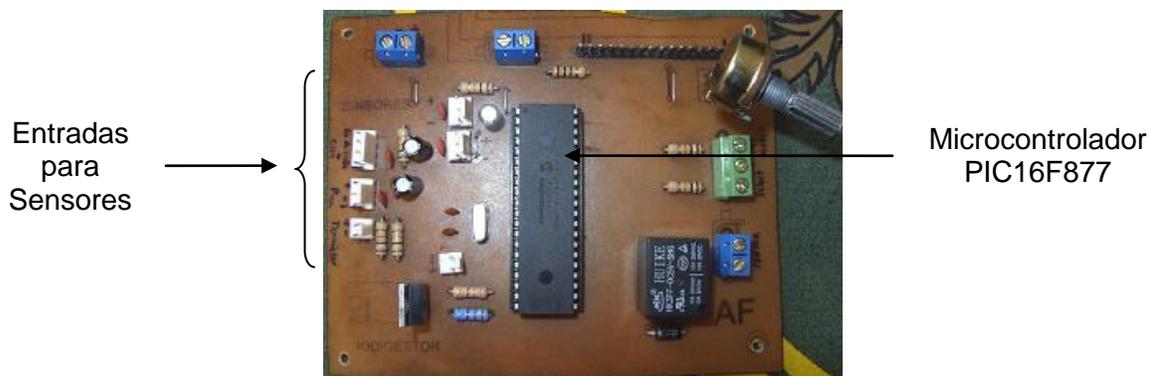
Figura 31. Sensores del depósito de almacenamiento de biogás



Fuente: Autor

En la siguiente figura se muestra el circuito desarrollado, encargado del control del biodigestor y el depósito de almacenamiento de biogás, con base en el microcontrolador PIC 16F877.

Figura 32. Circuito de control del biodigestor y depósito de biogás



Fuente: Autor

3.7.9. TABLERO DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN DEL PROCESO

Por medio del tablero de control se puede visualizar y controlar el avance del proceso. Este consta de dispositivos optoelectrónicos (LED's), pantallas de visualización (LCD) y botones para manejo y control.

a) Descripción del tablero de control

El tablero de control es un sistema de interacción hombre-máquina que permite al usuario visualizar y controlar el proceso de biodigestión. Cada sensor implementado en el sistema envía una señal hacia el controlador, este la procesa y envía un mensaje de la señal de respuesta ejecutada misma que se visualizada en el tablero de control en donde se visualiza tanto el avance como el estado del proceso a través de dispositivos LED y LCD.

El Tablero se lo desarrolló con materiales disponibles y de un costo no elevado, esperando que cumplan con la función requerida para tal procedimiento.

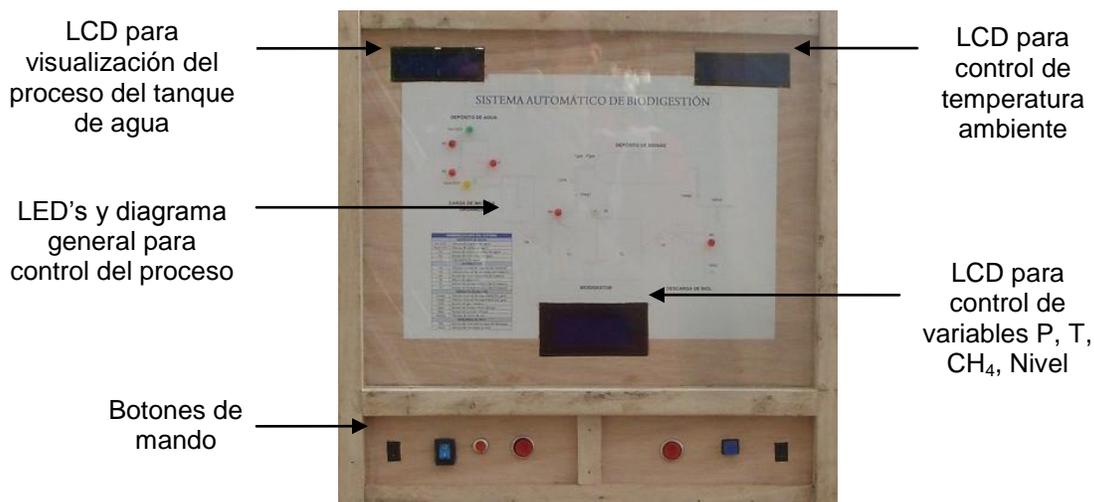
b) Ventajas del uso del tablero de control

- Visualización de variables del sistema (nivel, presión, temperatura, gas metano).
- Permite llevar un proceso controlado, ya que se puede observar el avance del mismo, por medio de los dispositivos LED y pantallas LCD.
- Accionamiento manual y automático del proceso.
- Fácil manejo para el usuario.

c) Construcción del tablero de control

El tablero de control desarrollado se presenta en la siguiente figura.

Figura 33. Tablero de control del sistema



Fuente: Autor

3.8. SELECCIÓN DEL LUGAR DE INSTALACIÓN Y CONTRUCCIÓN DE LA CUBIERTA DE PROTECCIÓN EXTERNA DEL SISTEMA

De acuerdo a los datos y consideraciones mencionados al inicio del presente capítulo, el sistema se instaló en una finca ubicada en el barrio Tanguarín, de la parroquia de San Antonio de Ibarra, cantón Ibarra, provincia de Imbabura. El sector seleccionado cuenta con las condiciones necesarias para la implementación.

3.8.1. CONSIDERACIONES TOMADAS EN CUENTA PARA LA INSTALACIÓN

Es importante tomar en cuenta las condiciones climáticas y de temperatura, así como golpes u afectaciones físicas que pueden ser provocadas por terceras personas en el lugar dentro de la finca en donde se instala el biodigestor. A través de una protección externa, se asegura las condiciones adecuadas para el funcionamiento del sistema, para ello hay que tomar en cuenta algunos aspectos, que se mencionan a continuación:

- La estructura de protección puede ser construida con materiales disponibles en la zona a base de madera, caña guadua, etc., y la cubierta será de polietileno

con protección ultravioleta, el mismo que permite el paso de los rayos solares y ayuda a mantener la temperatura interna del sistema.

- En caso de ser necesario es importante cercar el sitio para evitar la entrada de animales.
- El sistema de biodigestión debe estar protegido completamente contra la lluvia, para evitar que penetre agua y afecte al sistema eléctrico.

3.8.2. CARACTERÍSTICAS DE LUGAR SELECCIONADO EN LA FINCA

Para la selección del lugar a instalarse el sistema, se ha seleccionado un lugar de la finca que está prácticamente exento de sufrir los problemas mencionados anteriormente y presenta las condiciones necesarias para el buen funcionamiento, como:

- El lugar se encuentra tras de una cerca de protección, con lo que se asegura que no sufrirá daños causados por terceras personas, animales u objetos.
- La materia prima y el agua a utilizarse en el proceso, se encuentra cerca.
- Las condiciones climáticas favorecen al sistema, ya se encuentra en un lugar abierto en donde fácilmente puede captar los rayos del sol, lo que ayuda a mantener la temperatura necesaria para la producción del biogás.

En la siguiente figura se muestra, el lugar seleccionado en la finca y la preparación del área de construcción de la cubierta.

Figura 34. Área seleccionada en la finca y preparación del suelo



Fuente: Autor

De acuerdo a las dimensiones de los tanques que conforman el sistema, se ha considerado el espacio físico necesario para la instalación, siendo así que las medidas del espacio son 3 m de largo por 2 m de ancho.

Para la construcción de la estructura y cubierta, se ha utilizado madera disponible en el lugar, así como plástico de polietileno utilizado normalmente en los invernaderos.

En el siguiente gráfico se puede apreciar la estructura y cubierta en donde se instaló el sistema de biodigestión.

Figura 35. Cubierta externa para la protección del sistema



Fuente: Autor

3.9. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN

La implementación del sistema de biodigestión se lo realiza en una vivienda del sector rural de Tanguarín, de la parroquia de San Antonio de Ibarra, específicamente en la calle secundaria a 50 metros de la vía hacia la panamericana.

3.9.1. DESCRIPCIÓN

El plan de instalación consta de los siguientes pasos:

- Instalar el tanque de agua
- Instalar los tanques de carga y descarga de materia orgánica
- Instalar el tanque biodigestor

- Instalar el depósito de almacenamiento de biogás
- Instalar las tuberías y accesorios del sistema

3.9.2. TANQUE DE AGUA

De acuerdo al diseño realizado para el tanque, se lo ha instalado sobre una superficie fija y de acuerdo a las necesidades se realizó las conexiones necesarias. En la siguiente figura se presenta el proceso de construcción del tanque de agua.

Figura 36. Instalación del tanque de agua



a) Depósito seleccionado



b) Implementación de accesorios



c) Tanque instalado al sistema

Fuente: Autor

3.9.3. TANQUES DE CARGA Y DESCARGA

Para la implementación de los tanques de carga y descarga, en base al diseño se utilizó tanques de polietileno con capacidad de 60 litros.

En la siguiente figura se observa el proceso de construcción e instalación de los tanques mencionados.

Figura 37. Instalación de los tanques de carga y descarga



a) Instalación de accesorios



b) Tanque de carga



c) Tanque de descarga

Fuente: Autor

3.9.4. TANQUE DE BIODIGESTIÓN

El tanque de biodigestión es la parte central del sistema, por lo tanto tomando como referencia el diseño realizado, se procedió a la instalación y montaje del tanque y los accesorios que lo componen, como tuberías y acoples.

En la siguiente figura, se presenta el proceso de instalación del tanque.

Figura 38. Instalación del tanque de biodigestión



a) Instalación de accesorios



b) Accesorios instalados



c) Tanque implementado

Fuente: Autor

3.9.5. DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE BIOGÁS

Este depósito es el lugar en donde se almacenará el gas resultante luego del proceso de biodigestión. De acuerdo al diseño y las dimensiones, se procedió a construir el depósito, cuya base material es plástico de polietileno.

A continuación se presenta el depósito construido e implementado al sistema.

Figura 39. Depósito de almacenamiento de biogás



Fuente: Autor

3.9.6. TUBERÍAS Y ACCESORIOS DEL SISTEMA

Las tuberías son utilizadas para la conducción del agua, materia orgánica y gas. El material seleccionado fue polietileno de diferentes diámetros.

En la siguiente figura, se muestran algunas de las tuberías implementadas al sistema.

Figura 40. Instalación de tuberías y accesorios



a) Accesorios y tuberías



b) Instalación



c) Tubería de transporte de biogás



d) Tubería de ingreso de material



e) Tubería de salida de biogás



f) Tubería descarga de material

Fuente: Autor

3.10. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control es la base para lograr la eficiencia propuesta en el presente proyecto, a través de la supervisión de las variables intervinientes en el proceso de biodigestión. La implementación del sistema consta de los siguientes procedimientos:

- Instalación de los dispositivos sensoriales y actuadores
- Instalación del tablero de control
- Cableado del sistema
- Pruebas de funcionamiento

En la siguiente figura se puede observar el proceso de instalación del sistema de control desarrollado.

Figura 41. Instalación del sistema de control



a) Instalación de sensores y actuadores



b) Cableado del sistema



c) Instalación del tablero y unidad de control

Fuente: Autor

3.11. SISTEMA COMPLETO DE BIODIGESTIÓN IMPLEMENTADO

El sistema completo instalado consta del sistema de biodigestión con sus componentes y del sistema de control. En el Anexo 4, se presenta un diagrama general del sistema.

El sistema completo, se lo puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 42. Sistema completo de biodigestión implementado



Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. INTRODUCCIÓN

Los resultados finales del desarrollo e implementación del sistema de biodigestión, se presentan en este capítulo, además se mencionan algunos impactos esperados de la aplicación y ampliación futura del proyecto.

Una vez construido el sistema se realizó el procedimiento de carga. Así como también se verificó su funcionamiento analizando e interpretando los resultados que se obtuvieron durante la etapa de pruebas.

4.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

A continuación se menciona las pruebas y resultados del desarrollo e implementación del sistema de biodigestión.

De acuerdo al diseño realizado el digestor deberá ser cargado con 420 cm³ de sustrato. Al encontrarse el equipo instalado en un área cubierta y estar controlado por un sistema automático, se facilita la toma de lecturas de la producción de biogás.

4.2.1. SELECCIÓN DE LA FUENTE DE MATERIA ORGÁNICA A SER INGRESADA AL BIODIGESTOR

La materia orgánica a ser ingresada al sistema, puede tener una diversidad de procedencias, pero para nuestro caso y basándonos en el diseño realizado, la materia utilizada fue estiércol de ganado vacuno.

En la siguiente figura, se presenta el proceso de recolección de materia orgánica en la finca.

Figura 43. Fuente de la materia orgánica



Fuente: Autor

4.2.2. RECOLECCIÓN DEL ESTIÉRCOL

El estiércol puede ser recogido en cubetas o carretillas utilizando herramientas como pala o palancón, para mayor facilidad de recolección y transporte, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 44. Recolección de estiércol



Fuente: Autor

4.2.3. CARGA DEL SUSTRATO AL BIODIGESTOR

Terminado la recolección del estiércol, el siguiente paso es el llenado del sustrato (estiércol más agua) en el tanque de carga. El sistema fue cargado inicialmente al 80% de la capacidad del biodigestor equivalente a 420 cm^3 , con una relación de mezcla 1:1 materia orgánica – agua.

En la siguiente figura se puede apreciar el procedimiento de carga del sustrato.

Figura 45. Carga del sustrato al biodigestor



a) Carga de materia orgánica



b) Carga de agua



c) Biodigestor cargado completamente

Fuente: Autor

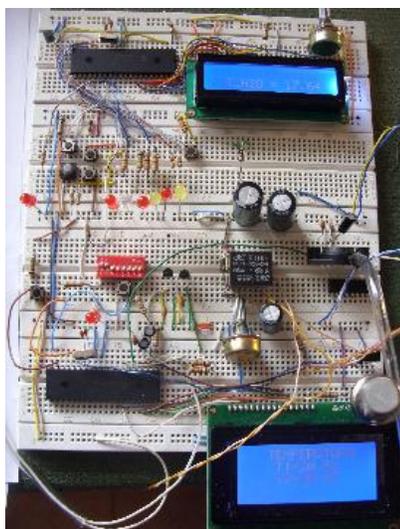
4.3. PRUEBAS REALIZADAS

El ensayo de pruebas permite registrar valores de las variables intervinientes en el proceso como temperatura del sustrato y del biogás, presencia de gas metano, presión.

Las pruebas de funcionamiento del sistema de control se realizaron primeramente utilizando un circuito elaborado en protoboard, a través del cual se midieron las variables de los sensores expuestos al medio ambiente normal. La Figura 47a, muestra el circuito utilizado para las pruebas iniciales del sistema.

Luego de comprobar el funcionamiento del equipo, se procedió a hacer la evaluación el sistema de control instalado y la medición de los valores entregados por los sensores expuestos al medio real. El sistema de control instalado se lo muestra en la Figura 47b.

Figura 46. Pruebas de funcionamiento del sistema



a) Circuito prueba para la adquisición de datos



b) Pruebas con el sistema de control instalado

Fuente: Autor

Una vez realizadas las pruebas respectivas, el sistema de control no presentó problemas logrando totalmente ser operativo y funcional en el momento de la obtención de las variables de los diferentes sensores, así como la corrección automática de fallas por medio de la activación de los actuadores.

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS

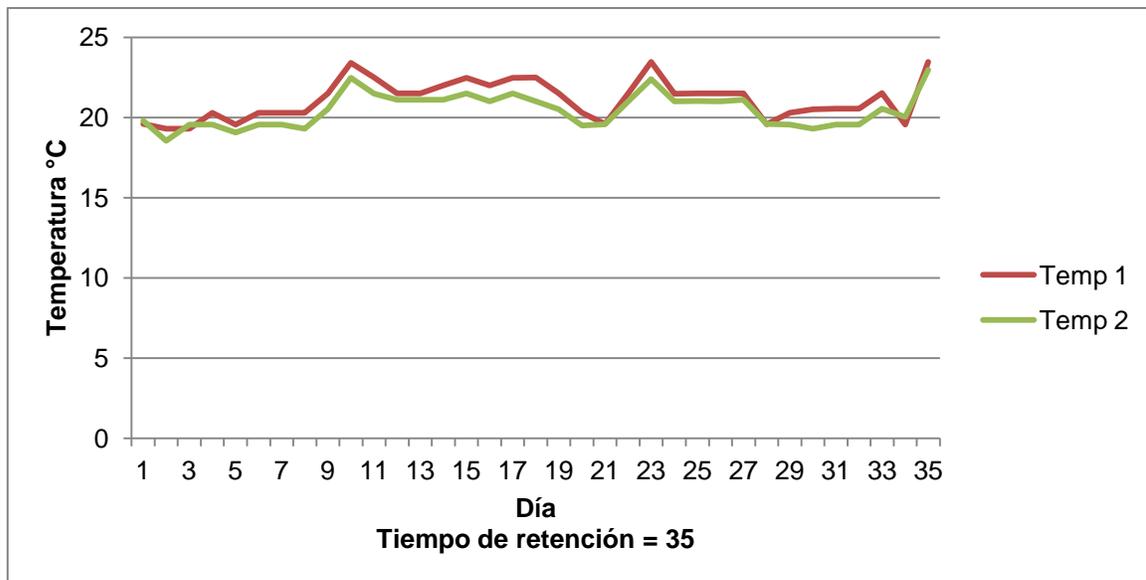
Los resultados obtenidos al cabo de un mes de retención del sustrato, se establecen a través del control diario de las variables y el monitoreo de la producción de biogás.

En el Anexo 5, se presenta la tabla completa con los datos obtenidos.

4.4.1. TEMPERATURA DEL SUSTRATO

Los resultados de la temperatura obtenida en el interior del biodigestor se presentan en el Gráfico 05.

Gráfico 05. Variación de temperatura en el interior del biodigestor



Fuente: Autor

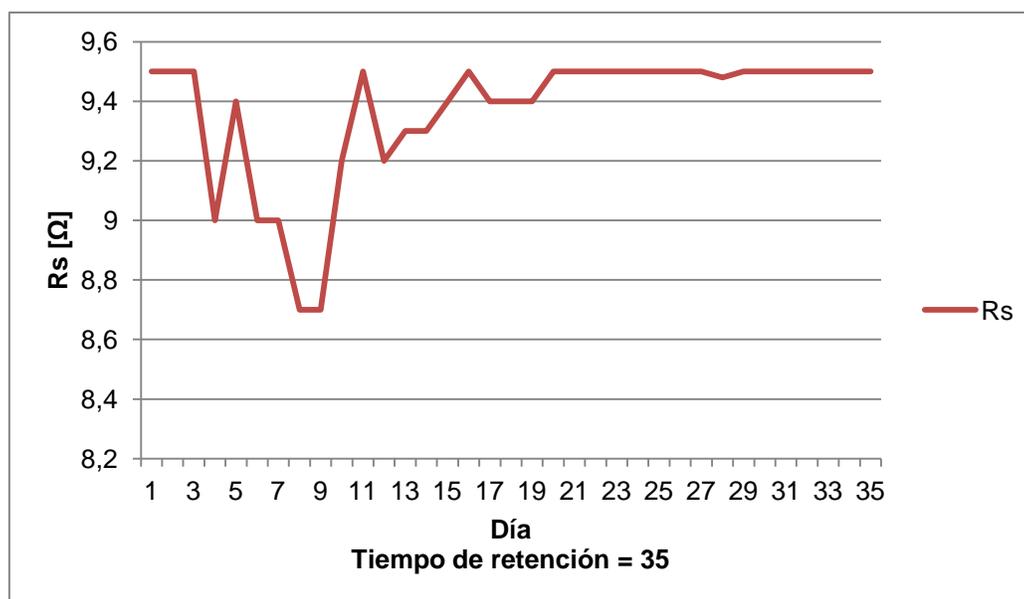
La temperatura fue tomada en dos puntos estratégicos del biodigestor, por medio de dos sensores implementados Temp 1 y Temp 2, ubicados a 34 cm de la base del tanque y a una distancia de separación de 43 cm entre uno y otro, considerándose está una posición estratégica ya que a ese nivel el sustrato se encuentra al 50% de

la carga total y a una temperatura media. A través de los datos obtenidos se puede observar que en general no existen grandes variaciones durante el proceso, fluctuando en un rango de 19 a 23 °C. Además, se puede observar, que la temperatura permanece constante en los dos puntos medidos, esto se debe principalmente a la intervención del sistema de control, a través de la activación del agitador en su función de mantener una temperatura uniforme en todo el sustrato.

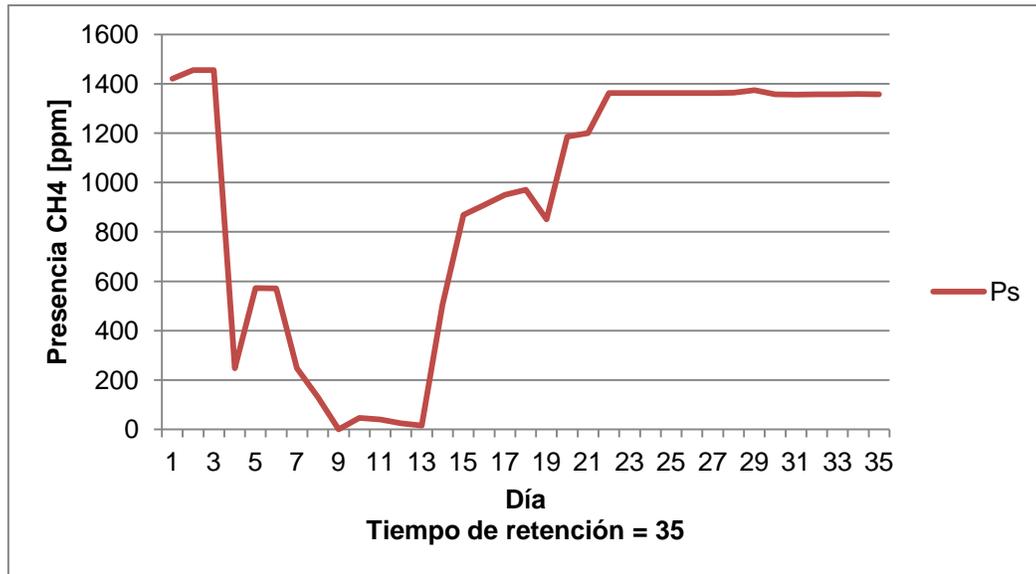
4.4.2. PRESENCIA DE GAS METANO

La presencia de gas metano, se establece por medio de la implementación del sensor MQ-4, mismo que entrega una señal final considerada como la presencia de gas metano en partes por millón (ppm), es este sentido, las tomas realizadas consistieron en el valor de la resistencia de sensibilización (Gráfico 06), misma que evalúa el cambio del valor en función de la presencia de gas, y el valor final en ppm (Gráfico 07).

Gráfico 06. Variación de la resistencia de sensibilización R_s en el biogás



Fuente: Autor

Gráfico 07. Presencia de gas metano [ppm]

Fuente: Autor

De acuerdo a los gráficos anteriores, se observa que tanto la resistencia de sensibilización (Rs) como la presencia de gas metano (Ps), presentan un aumento del valor, conforme el tiempo de retención es mayor.

Existe una variación considerable desde el inicio, cuando se realiza la primera carga de sustrato al sistema, observándose que la presencia de gas metano es casi similar a la producida al final del proceso. Esta situación se da, debido a que la materia orgánica ingresada es fresca y emana gases considerados contaminantes, mismos que se aprovechan en la biodigestión y la formación de bacterias. Conforme avanza el proceso a partir del primer día hasta la mitad de la segunda semana, los niveles de gas disminuyen; durante este período la formación de bacterias se encuentra en las dos primeras etapas hidrólisis y acidogénesis. Luego de este período a partir de la segunda semana inicia un incremento paulatino de la presencia de gas metano, debido a que las bacterias pasan hacia la etapa de metanogénesis que es cuando ya están constituidas. En la tercera semana el nivel se estabiliza y la producción de gas se vuelve constante. La presencia de gas metano para el día 35 fue de 1357,9 ppm.

4.4.3. PRESIÓN

El control de la presión se realizó con el fin de establecer la variación en la producción de biogás. El sensor de presión MPX4115, se lo colocó en la tubería de conducción de gas desde el biodigestor hacia el depósito de almacenamiento. En el Gráfico 08, se puede apreciar la variación de presión con respecto al tiempo de retención del sustrato.

Gráfico 08. Variación de la presión [kPa]



Fuente: Autor

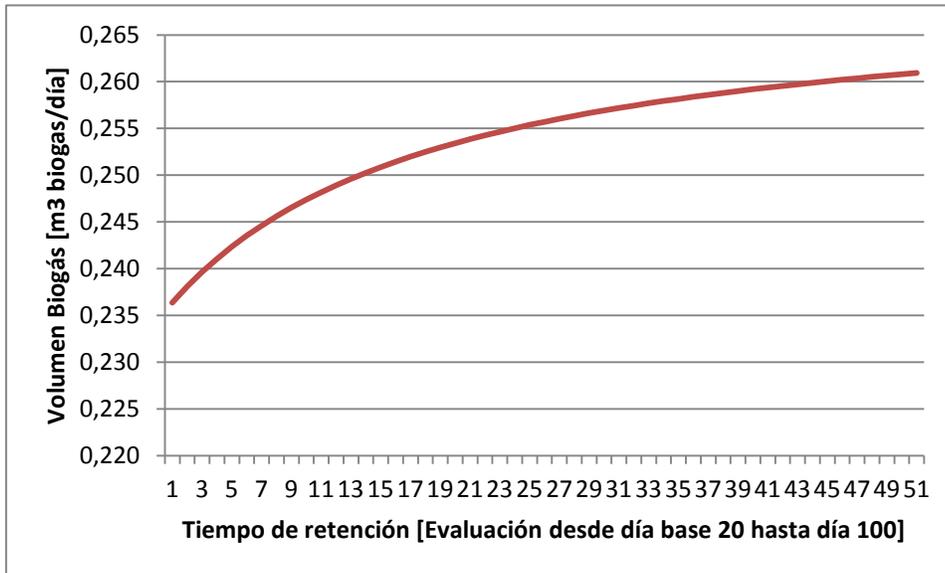
De acuerdo al gráfico anterior, el valor de la presión aumenta exponencialmente, durante las dos primeras semanas, conforme avanza el proceso de biodigestión, hasta llegar a un punto en donde se vuelve constante con un valor promedio de 75 [kpa], que es cuando las bacterias ya se encuentran en la etapa de metanogénesis y produciendo biogás.

4.4.4. VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DIARIA DE BIOGÁS

El volumen de producción de biogás por día se establece en base al cálculo realizado utilizando la Ecuación 3 y considerando el biogás producido con una

presencia de gas metano en un 60 % y de CO₂ en un 40 %. El período considerado para la evaluación de la producción de biogás fue entre el 20¹⁰ día hasta el 100, tomados en cuenta desde el inicio del proceso. En el siguiente gráfico se puede observar la evolución en la producción diaria de biogás.

Gráfico 09. Volumen de producción de biogás [m³ biogás/día]¹¹



Fuente: Autor

De acuerdo a los datos de la figura presentada, se puede observar el volumen de producción de biogás. Al inicio del proceso de biodigestión del sustrato no existe presencia de biogás y, conforme avanza la producción de las bacterias metanogénicas se va generando poco a poco. Para nuestro caso el tiempo de retención establecido para la evaluación fue de 30 días. En el gráfico se observa la evolución en la producción de biogás a partir del día 20 con un valor de 236 [cm³ biogás/día] y conforme avanza el tiempo la producción sigue aumentando poco a poco pasando por el día 30 con un valor de 248 [cm³ biogás/día] y un valor al final de la evaluación de 264 [cm³ biogás/día] al día 100.

¹⁰ Período de evaluación considerado en base al tiempo de retención a partir del día 20 hasta el día 100.

¹¹ El día 1 en el gráfico representa el día 20 del proceso y así paulatinamente.

4.5. IMPACTOS DEL PROYECTO EN LOS EJES DE LA SUSTENTABILIDAD

Los impactos generados por la producción de energías renovables son variados y múltiples, según sea el área y nivel de intervención. Para nuestro caso, en la siguiente tabla, se presenta un análisis de los impactos causados por la energía de biogás, en base a las dimensiones de la sustentabilidad, manifestadas en las áreas económica, ecológica, social y cultural.

Tabla 23. Impactos de la energía de biogás de acuerdo a los ejes de la sustentabilidad

ECONÓMICO	ECOLÓGICO
<ul style="list-style-type: none"> - Al ser un tipo de energía in-situ, se reducen los costes de producción y transporte de la energía. - Aprovechamiento de los recursos naturales y desechos agrícolas en la producción de energía. - Reducción de la planilla energética al utilizar la energía en diversos usos. - Aporte a la matriz energética del Ecuador. - Disminuye la dependencia energética. - Evita dependencia del exterior, al no requerirse tecnologías complejas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La eliminación de residuos orgánicos tiene aspectos beneficiosos para la ecología (evita incendios, plagas, enfermedades, etc.), la salud y el entorno paisajístico. - Ayuda a rebajar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. - El bajo contenido de azufre de la biomasa hace que en su combustión, el nivel de producción de óxidos de azufre sea muy bajo, por lo que se evitan las lluvias ácidas. - Evita el deterioro ambiental producido por las explotaciones de los yacimientos de combustibles fósiles.
SOCIAL	CULTURAL
<ul style="list-style-type: none"> - Crea puestos de trabajo locales en las zonas de producción y consumo, en mayor proporción que las energías fósiles. - Fomenta en la población rural el uso de los desechos orgánicos en la producción de energía, para su uso en el mismo lugar de generación. 	<ul style="list-style-type: none"> - La materia orgánica proveniente del sector agrícola ha constituido desde la antigüedad, un material utilizado tradicionalmente como alternativa energética, por ejemplo el uso de la biomasa seca para la combustión en cocinas para la preparación de los alimentos, así como abono para la agricultura.

Fuente: Autor

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presenta el estudio financiero, necesario para establecer la rentabilidad del proyecto. El análisis económico se lo realiza en base a los diversos factores que influyen en el costo total del proyecto.

Según Jácome W. (2005: 161): El estudio financiero es importante para establecer el nivel de rentabilidad de un proyecto en base a un estudio y análisis de los fondos disponibles contrastando con los posibles escenarios que se presentan en el entorno del proyecto.

El estudio de factibilidad financiera no solo consiste en determinar si el proyecto es o no rentable, sino que debe servir de soporte entre alternativas de acción para poder estar en condiciones de recomendar la aprobación o rechazo del proyecto.

5.2. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DEL BIOGAS

En el análisis de la rentabilidad del biogás hay que tener en cuenta que este se encuentra en el campo de las fuentes energéticas y, en el de los abonos y fertilizantes agrícolas.

En el mercado de las fuentes energéticas, el biogás compite con la leña, el gas propano y la electricidad; fuentes energéticas utilizadas usualmente en la cocción, calefacción, iluminación, y con la gasolina o el diesel como combustible para motores. Sin embargo, es necesario aclarar que en el país no existe todavía una amplia investigación acerca del biogás y sus bondades que podría ofrecer como una fuente de energía alternativa.

En el campo agrícola, los residuos generados por el sistema de biodigestión, compiten con los fertilizantes utilizados en las granjas, como una fuente de nutrientes y combate de plagas en terrenos de poca fertilidad. La tecnología del biogás genera productos importantes que pueden sustituir, no solo desde el punto de vista técnico, sino económico, a productos que tienen alta demanda actualmente, considerando que el residuo de la biodigestión tiene origen orgánico.

Para el análisis de la rentabilidad del presente proyecto, se realizará una comparación del biogás frente al gas propano, comúnmente utilizado para cocción y calefacción, así como con el abono agrícola utilizado para fertilizar los cultivos.

5.3. PROYECCIÓN DE INGRESOS

Para el análisis financiero del proyecto, se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones.

- Un m³ de biogás puede remplazar 0.46 Kg de gas propano.
- El costo actual del cilindro de gas de 15 Kg es de 2,25 USD (servicio a domicilio). Cabe mencionar que existen sectores rurales alejados en Ecuador en donde un cilindro de gas puede llegar a costar hasta 5 USD.
- La producción diaria de biogás según el diseño y los resultados obtenidos de la implementación es de 0,248 m³/día, mensualmente se tendría una producción equivalente a 7,44 m³ y anualmente 89,28 m³.
- El biofertilizante o abono agrícola tiene un costo de 0.50 USD/litro (según mercado local).
- En total en la finca y los terrenos de propiedad de los beneficiarios del proyecto en una superficie de 4 cuadras de cultivos, se consume un promedio de 4000 litros/año de biofertilizante.
- El digestor aporta diariamente con 21 litros/día de biofertilizante que equivaldrían a 7200 litros/año, con lo cual la finca estaría sobre abastecida y el excedente que equivale a 3200 litros se podría venderlo.

Realizando comparaciones entre las consideraciones expuestas se tiene que:

- **Ingreso anual por producción de biogás como combustible:**

$$89,28 \frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{año}} * 0,46 \frac{Kg \text{ Gas}}{1m^3 \text{ biogas}} * \frac{2,25 \text{ USD}}{15 \text{ Kg Gas}} = 6,16 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

- **Ingreso anual por producción de biofertilizante¹²:**

$$7200 \frac{\text{litros (biofertilizante)}}{\text{año}} * 0,50 \frac{\text{USD}}{\text{Kg (biofertilizante)}} = 3600 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Cabe destacar, que un beneficio incluido en la producción está el uso del biofertilizante en la misma finca y terrenos destinados a la producción agrícola, lo que constituye un ahorro por la compra de 4000 litros/año que equivalen a 2000 USD. Además el uso del biofertilizante producido por biodigestión al ser de origen vegetal y animal es orgánico y por lo tanto su aplicación en los cultivos, previene la contaminación causada por los fertilizantes químicos comúnmente usados.

De acuerdo al análisis, se tendrían unos ingresos anuales de 3600 USD. Estos valores varían para cada periodo dependiendo de la inflación y el tiempo de vida útil del sistema, establecido en 15 años. En la siguiente tabla, se presentan los ingresos proyectados.

¹² Ingreso de producción de biofertilizante obtenido por uso propio en la finca y propiedades (4000 litro/año) y excedente para venta (3200 litros/año).

Tabla 24. Proyección de ingresos

PROYECCIÓN DE INGRESOS	
Año de operación	Valor USD
1	3600,00
2	3798,00
3	4006,89
4	4227,27
5	4459,77
6	4705,06
7	4963,83
8	5236,84
9	5524,87
10	5828,74
11	6149,32
12	6487,53
13	6844,35
14	7220,79
15	7617,93

Fuente: Autor

5.4. COSTOS DEL PROYECTO

Chiliquinga (2007, 9) define a costo como: “El conjunto de valores incurridos en un período perfectamente identificados con el producto que se fabrica. El costo constituye una inversión, es recuperable y trae consigo ganancia”.

Siendo así, se puede decir que costo es el esfuerzo económico que se debe realizar para lograr un objetivo operativo.

Los costos, de acuerdo a su tipo, se clasifican en:

- Costos directos
- Costos indirectos

5.4.1. COSTOS DIRECTOS

Son aquellos que se pueden identificar o cuantificar plenamente con los productos terminados. Es decir, los costos directos son aquellos necesarios para obtener un producto (materias primas, partes o componentes complementarios y manos de obra de los trabajadores del área de producción, etc.) (Bravo: 2005).

En la siguiente tabla se presentan los costos directos del proyecto. Los valores se establecen de acuerdo al diseño e implementación del sistema completo.

Tabla 25. Costos Directos

DETALLE	CANTIDAD (DÍAS)	COSTO UNITARIO (USD)	SUBTOTAL (USD)
MANO DE OBRA¹³			
Limpieza del terreno	2	15	30
Construcción de la estructura	3	15	45
Instalación de la cubierta de protección	1	15	15
Diseño y construcción del sistema	30	15	450
Instalación del equipo	7	15	105
Transporte de material			30
TOTAL DE MANO DE OBRA			675
MATERIA PRIMA			
Estructura y cubierta			
Puntales de la estructura	4	3	12
Tiras de madera	40	0,8	32
Polietileno transparente 3 m de ancho	12	2,5	30
Sistema de Biodigestión			
Tuberías y accesorios	1	150	150
Tanque de agua	1	6	6
Tanque de carga y descarga	2	10	20
Tanque de biodigestión	1	72	72
Polietileno tubular 1,5 m de ancho	3	2,5	7,5
Manguera de agua	5	0,5	2,5
Sistema mecánico, eléctrico y electrónico			
Cajas	2	10	20
Motor agitador	1	200	200
Válvulas de agua	2	10	20
Sensores electromecánicos	2	3,5	7
Sensores de temperatura LM35	3	2	6
Sensor de presión MPX4115	1	30	30
Sensor de Gas Metano MQ-4	1	15	15
Sensor Termistor 10K	1	10	10
Sensores de nivel flotadores	2	3	6
Sistema de control microprocesado	1	50	50
Material electrónico	1	100	100
Cableado	1	30	30
TOTAL MATERIA PRIMA			826
TOTAL COSTOS DIRECTOS			1501

Fuente: Autor

¹³ El costo unitario de mano de obra se establece de acuerdo al código de trabajo Art. 13: "...la remuneración por jornal se toma como base cierta unidad de tiempo". Art. 80: "...el salario por jornal se paga por unidades de obra o por tareas".

5.4.2. COSTOS INDIRECTOS

Son todos los costos que afectan al proceso productivo en general de uno o más productos. Es decir son aquellos elementos que complementan la acción, en el desarrollo del bien producido y tienen una relevancia relativa frente a los costos directos.

Tabla 26. Costos indirectos

DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	SUBTOTOTAL (USD)
Silicona líquida	2	3	6
Sellos de caucho	10	0,25	2,5
Estilete	1	1	1
Tijeras	1	1,5	1,5
SERRUCHO	1	4	4
Clavos (libras)	3	1,5	4,5
Masilla epóxica	1	3	3
TOTAL COSTOS INDIRECTOS			22,5

Fuente: Autor

5.4.3. COSTO TOTAL

El costo total es la sumatoria de los costos directos e indirectos, que se incluyen en el proyecto. A continuación se presentan los resultados del costo total.

Tabla 27. Costo total del proyecto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Costos directos	1501
Costos indirectos	22,5
COSTO TOTAL	1523,5

Fuente: Autor

5.5. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Para realizar el análisis de los costos de la implementación del sistema, se han tomado en cuenta los siguientes factores, definidos por Chilibringa (2007: 11) como:

- **Mano de obra directa**

“Fuerza de trabajo que participa directamente en la transformación de los materiales en productos acabados ya sea que intervenga manualmente o accionando máquinas”.

- **Mano de obra indirecta**

“Fuerza de trabajo que participa en forma indirecta en la transformación de un producto”.

- **Gastos generales de fabricación**

“Llamados también carga fabril y engloba aquellos egresos realizados con el fin de beneficiar al conjunto de los diferentes artículos que se fabrican. No se identifican con un solo producto o proceso productivo”.

En la siguiente tabla, se muestra el análisis de costos de implementación del proyecto.

Tabla 28. Análisis de costos de implementación del proyecto

ANÁLISIS DE COSTOS			
<i>COSTO DEL SERVICIO</i>			
Estructura y cubierta	1	74	74
Sistema de Biodigestión	1	258	258
Sistema mecánico, eléctrico y electrónico	1	494	494
Costos indirectos	1	22,5	22,5
TOTAL MATERIALES			848,5
<i>MANO DE OBRA INDIRECTA</i>			
Limpieza del terreno	2	15	30
Construcción de la estructura	3	15	45
Instalación de la cubierta de protección	1	15	15
Diseño y construcción del sistema	30	15	450
Instalación del equipo	7	15	105
Transporte de material	1	30	30
TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA			675
TOTAL DE COSTO DE PRODUCCIÓN DEL SERVICIO			1523,5
<i>GASTOS DE FABRICACIÓN</i>			
Depreciación de equipos		63,75	63,75
TOTAL DE DEPRECIACIÓN			63,75
<i>MANO DE OBRA DIRECTA</i>			
Mantenimiento anual	1	200	200
Operación anual	1	200	200
TOTAL ACTIVO DIFERIDO			400
TOTAL			1987,25

Fuente: Autor

5.5.1. CLASIFICACIÓN DE COSTOS

En la siguiente tabla se presenta una clasificación general de los costos.

Tabla 29. Clasificación de costos

CLASIFICACIÓN DE COSTOS			
Concepto	Costo Fijo	Costo Variable	Total
Costo de servicio	848,5		848,5
Mano de obra directa		400	400
Mano de obra indirecta	675		675
Depreciación	63,75		63,75
COSTO TOTAL	1587,25	400	1987,25

Fuente: Autor

5.5.2. PROYECCIÓN DE COSTOS

Los costos se proyectan de acuerdo a los 15 años de vida útil del sistema y al índice inflación anual en Ecuador para el año 2011 que fue de 5,41%¹⁴. En la siguiente tabla se encuentra la proyección de costos.

Tabla 30. Proyección de costos

PROYECCIÓN DE COSTOS			
Años	C. Variable	C. Fijo	C. Total
1	400,00	63,75	463,75
2	421,64	63,75	485,39
3	444,45	63,75	508,20
4	468,50	63,75	532,25
5	493,84	63,75	557,59
6	520,56	63,75	584,31
7	548,72	63,75	612,47
8	578,41	63,75	642,16
9	609,70	63,75	673,45
10	642,68	63,75	706,43
11	677,45	63,75	741,20
12	714,10	63,75	777,85
13	752,73	63,75	816,48
14	793,46	63,75	857,21
15	836,38	63,75	900,13

Fuente: Autor

5.5.3. DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS

Los activos fijos pierden su valor por el uso o por la obsolescencia, disminuyendo su potencial de servicio. Depreciación es el proceso de asignar a gasto el costo de un activo de planta o activo fijo, durante el período en que se usa el activo (Bravo: 2005), y se calcula en base a diferentes tasas, de acuerdo al material y tiempo de vida útil, establecidos por el SRI (Servicio de Rentas Internas). En la siguiente tabla, se detallan los valores a depreciar.

¹⁴ Índice de inflación 2011 establecida por el Banco Central del Ecuador. http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion

Tabla 31. Depreciación de Equipos

DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS				
Inversión en activos	Valor	Valor residual	Vida	Depreciación Anual
<i>ESTRUCTURA Y CUBIERTA</i>				
Puntales de la estructura	12	1,2	10	1,08
Tiras de madera	32	3,2	10	2,88
Polietileno transparente 3 m de ancho	30	2,1	5	5,58
<i>SISTEMA DE BIODIGESTIÓN</i>				
Tuberías y accesorios	150	7,5	20	7,13
Tanque de agua	6	0,9	7	0,73
Tanque de carga y descarga	20	1,4	15	1,24
Tanque de biodigestión	72	5,04	15	4,46
Polietileno tubular 1,5 m de ancho	7,5	0,525	5	1,40
Manguera de agua	2,5	0,5	5	0,40
<i>SISTEMA MECÁNICO, ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO</i>				
Cajas	20	2	10	1,80
Motor agitador	200	14	15	12,40
Válvulas de agua	20	2	10	1,80
Sensores electromecánicos	7	0,7	10	0,63
Sensores de temperatura LM35	6	0,6	10	0,54
Sensor de presión MPX4115	30	3	10	2,70
Sensor de Gas Metano MQ-4	15	1,5	10	1,35
Sensor Termistor 10K	10	1	10	0,90
Sensores de nivel flotadores	6	0,6	10	0,54
Sistema de control microprocesado	50	5	10	4,50
Material electrónico	100	10	10	9,00
Cableado	30	3	10	2,70
TOTAL DEPRECIACIÓN				63,75

Fuente: Autor

5.6. FLUJO DE CAJA

El flujo de caja, es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por esta razón constituye un indicador importante para medir la liquidez de un proyecto en un periodo determinado.

Para el desarrollo del flujo de caja se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los flujos serán para 15 años, tiempo en el cual se estima la vida útil del digestor, las tuberías y accesorios, debido al material que es polietileno de alta resistencia.
- Los ingresos correspondientes son de 3600 USD/año, a este valor se incrementa la cifra correspondiente a la inflación, año tras año.
- Los egresos provienen de los costos de diseño e implementación del sistema cuyo valor es de 1987,25 USD.
- La inflación anual es de 5,41%, que corresponde a al índice para el periodo 2011.

En la siguiente tabla, se aprecia el flujo de caja proyectado a 15 años.

Tabla 32. Flujo de caja

FLUJO DE CAJA																
INGRESOS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
TOTAL DE INGRESOS		3600,00	3794,76	4000,06	4216,46	4444,57	4685,02	4938,48	5205,65	5487,28	5784,14	6097,06	6426,91	6774,61	7141,12	7527,45
COSTOS																
Costo Fijo		1587,25	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75	63,75
Costo Variable		400,00	421,64	444,45	468,50	493,84	520,56	548,72	578,41	609,70	642,68	677,45	714,10	752,73	793,46	836,38
TOTAL DE COSTOS		1987,25	485,39	508,20	532,25	557,59	584,31	612,47	642,16	673,45	706,43	741,20	777,85	816,48	857,21	900,13
UTILIDAD BRUTA	-1987,3	1612,75	3309,37	3491,86	3684,21	3886,98	4100,71	4326,01	4563,50	4813,83	5077,71	5355,86	5649,06	5958,13	6283,91	6627,32

Fuente: Autor

5.7. EVALUACIÓN

5.7.1. TASA DE DESCUENTO

La tasa de descuento es una medida financiera que se aplica para determinar el valor actual de un pago futuro, es decir se utiliza para determinar el valor en moneda de hoy del dinero pagado o recibido en algún momento futuro.

Cuando un capital se ha invertido en un proyecto, es importante tomar en cuenta la tasa. Para este proyecto se estima una tasa de 5%¹⁵ de interés generado al capital propio, y aplicando la fórmula para el cálculo de la tasa de redescuento se ha obtenido un valor de 10,80%.

Tabla 33. Tasa de descuento

TASA DE DESCUENTO			
Descripción	Valor	%	Tasa Ponderante
Inversión	-1987,25	100	5%

Fuente: Autor

Ecuación 24. Tasa de rendimiento medio

$$TD = (1 + TP) \times (1 + IF) - 1$$

Donde:

TD = Tasa de descuento

TP = Tasa ponderante

IF = Índice de inflación (5,41%)

Reemplazando valores en la ecuación 24, tenemos:

$$TRM = (1 + 0,05) \times (1 + 0,0541) - 1$$

$$TRM = 0,107 = 10,7 \%$$

¹⁵ Tasa de interés establecida por el Banco Nacional de Fomento para proyectos de desarrollo. https://www.bnf.fin.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=17#información

5.7.2. VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.)

Se considera al VAN como la rentabilidad en términos de dinero con poder adquisitivo presente y permite autorizar si es o no pertinente la inversión en el horizonte de la misma (Jácome: 2005, 82). Este indicador permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero de maximizar la inversión, a través de la suma actualizada de los flujos de caja que se espera generar a lo largo de la vida útil del proyecto.

La fórmula correspondiente para el cálculo del VAN, es la siguiente:

Ecuación 25. Valor Actual Neto

$$VAN = \sum U_n (1 + cp)^{-m}$$

Donde:

VAN = Valor actual neto.

$\sum U_n$ = Sumatorio de los saldos de caja para cada periodo

n = Periodo de análisis en años

cp = Costo del capital (10,8%)

m = 1, 2, etc. Año de operación

Este indicador económico establecerá con certeza si el proyecto es o no viable. Para ello hay que analizar si se encuentran dentro de los siguientes criterios.

- $VAN > 0$; El proyecto es aceptado
- $VAN < 0$; El proyecto es rechazado
- $VAN = 0$; El proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo

5.7.3. TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (T.I.R.)

Se denomina Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N.) de una inversión sea igual a cero.

La fórmula correspondiente para el cálculo del TIR, es la siguiente:

Ecuación 26. Tasa Interna de Rentabilidad

$$I = \sum U_n (1 + TIR)^{-m}$$

Donde:

I = Inversión inicial del proyecto

$\sum U_n$ = Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo

n = Periodo de análisis en años

TIR = Tasa interna de rentabilidad

m = -1, -2, etc. Año de operación

Los criterios de evaluación del TIR, establecen lo siguiente:

- TIR > Costo del capital; el proyecto es aceptado.
- TIR < Costo del capital; el proyecto es rechazado.
- TIR = Costo del capital; el proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo.

5.7.4. RELACIÓN BENEFICIO COSTO

Es la relación entre los ingresos actualizados sobre los costos de inversión actualizados. A través de este indicador, se puede determinar cuáles son los beneficios por cada dólar invertido en el proyecto.

La fórmula para calcular la relación beneficio - costo, es la siguiente:

Ecuación 27. Relación Beneficio / Costo

$$\text{Beneficio Costo} = \frac{\sum \text{Ingresos}/(1+i)^n}{\sum \text{Costos}/(1+i)^n}$$

Donde:

i = Tasa de descuento

n = Año de operación

En la siguiente tabla, se presentan los resultados del análisis de los indicadores antes mencionados.

Tabla 34. Indicadores de Rentabilidad Financiera

Año de operación	Costos totales (USD)	Beneficios totales (USD)	Factor de actualización 10,70%	Costos actualizados (USD)	Beneficios actualizados (USD)	Flujo neto de efectivo act. (USD)
0	0	-1.987	1,000	0,00	-1.987,25	-1.987,25
1	1987,25	1612,75	0,903	1.795,17	1.456,87	-338,30
2	485,75	3309,37	0,816	396,39	2.700,54	2.304,15
3	508,96	3491,86	0,737	375,18	2.574,03	2.198,85
4	533,45	3684,21	0,666	355,22	2.453,32	2.098,09
5	559,28	3886,98	0,602	336,43	2.338,16	2.001,73
6	586,53	4100,71	0,543	318,72	2.228,30	1.909,58
7	615,29	4326,01	0,491	302,03	2.123,51	1.821,48
8	645,62	4563,50	0,443	286,28	2.023,56	1.737,28
9	677,72	4813,83	0,401	271,47	1.928,24	1.656,77
10	711,39	5077,71	0,362	257,41	1.837,35	1.579,94
11	747,01	5355,83	0,327	244,18	1.750,66	1.506,49
12	784,59	5649,06	0,295	231,67	1.668,03	1.436,36
13	824,23	5958,13	0,267	219,85	1.589,25	1.369,39
14	866,06	6283,91	0,241	208,68	1.514,13	1.305,45
15	910,19	6627,32	0,218	198,12	1.442,53	1.244,41
Total	11.443	66.754		5.796,79	27.641,23	21.844,44

Fuente: Autor

Los indicadores financieros que arroja el proyecto son:

VAN = 21.844,44

TIR = 77,82%

BENEFICIO / COSTO = 4,77

De acuerdo a los resultados del análisis y tomando en cuenta las consideraciones de evaluación para los indicadores financieros mencionadas anteriormente, se establece que el proyecto es factible económica y financieramente.

5.7.5. PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Para calcular el período y el tiempo, se debe acudir a los pronósticos tanto de la inversión inicial como del estado de resultados del proyecto.

Tomando en cuenta los valores de las utilidades anuales del proyecto (*Ver tabla 32*), se establece que la inversión inicial se recuperará en aproximadamente 1 año y un mes.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se ha logrado diseñar y construir de un biodigestor con sistema de control automático para la generación de gas natural a partir de materia orgánica, a ser utilizado como combustible natural para la preparación de alimentos o calefacción en viviendas del sector rural.
- La incorporación de un sistema automático ha permitido llevar un proceso controlado en la producción del biogás, a través de la utilización de dispositivos electrónicos, sensores y actuadores. De esta manera se ha logrado efectivizar y conseguir la producción deseada en óptimas condiciones.
- El proyecto permite evidenciar la factibilidad de generación de gas metano para uso doméstico en viviendas ubicadas en el sector rural y biofertilizantes para la agricultura, siendo una alternativa de solución al cambio de matriz energética que persigue el Gobierno Nacional.
- La eficiencia en la producción de biogás y biofertilizantes depende tanto del control de las variables intervinientes en el proceso, así como la calidad y tipo de materia disponible y relación de mezcla materia prima – agua.
- El sistema desarrollado y su aplicación en el sector rural, de acuerdo al estudio financiero realizado es económicamente rentable y factible.
- El proyecto constituye una base para el desarrollo de las energías renovables en el país, comprobándose así que a través de la ingeniería se mejora la eficiencia de los procesos y se solucionan problemas reales de la sociedad, en este caso una alternativa energética utilizando recursos disponibles en la zona.

6.2. RECOMENDACIONES

- Los biodigestores desarrollados en la actualidad en el país, no cuentan con las características tecnológicas que mejoren el proceso por lo cual se generan pérdidas en la producción y el tiempo de vida útil es muy corto dado por las condiciones del material, por lo tanto es recomendable que la tecnología se incluya en este tipo de propuestas.
- El diseño del sistema actual fue desarrollado en base a los criterios de la finca en donde se aplica, siendo así, que para su aplicación en otro sector, es necesario rediseñar en base a las necesidades y condiciones del mismo.
- El presente proyecto constituye una idea inicial del desarrollo de esta tecnología en el país, por lo tanto un siguiente paso a seguir luego de haber comprobado la rentabilidad del sistema, es el incremento de la capacidad del mismo para mejorar el rendimiento en la producción del biogás. Se ha comprobado que las plantas de biogás presentan mejores resultados, mientras mayor es su capacidad, por esta razón se menciona la idea de desarrollar un proyecto a mayor escala, hacia la constitución de pueblos bioenergéticos, es decir que se autoabastecen de la energía producida por su propia planta.
- Como un proyecto continuo al presente trabajo, se recomienda avanzar el estudio para la generación de energía eléctrica utilizando el biogás generado. Así como el uso la energía solar térmica para la purificación del agua a utilizarse en la biodigestión.
- Se recomienda promover la investigación y realización de proyectos en el área de las energías renovables desde la academia, generando propuestas innovadoras que aporten al cambio de la política energética nacional.
- Es fundamental iniciar un proceso de concientización hacia el desarrollo sustentable y la promoción de las energías limpias, como alternativa de mejoramiento al modelo de desarrollo actual.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASAE – American Society of Agricultural Engineers (1993): Standard D384.1 DEC93. United States. Disponible en: <http://m.doa.go.th/aeri/files/pht2008/lecture%20slides/mr%20viboon/grain%20drying/aeae-1998/pdfs/section6/612.pdf>
2. Asamblea Nacional del Ecuador (2008): Constitución de la República del Ecuador 2008. Disponible en: <http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/Constitucion-2008.pdf>
3. Barrientos, A. (2007): Fundamentos de Robótica. Segunda Edición. Editorial McGraw Hill. España.
4. Bild der Wissenschaft Plus Magazin (2007): Die Erde hat Fieber. Deutschland.
5. Bolton, W. (2006): Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y de electricidad. 3ª Edición.
6. Bravo, M. (2005): Contabilidad General. Sexta Edición. Editorial Nuevo Día. Quito, Ecuador.
7. Bridgewater, G. (2009): Energías alternativas - Handbook. Editorial Parainfo. Primera Edición. Madrid, España.
8. CEKYT (1999): Curso práctico de electrónica moderna. Tomos 4 y 5. Pereira, Colombia.
9. CEKYT (2002): Curso práctico de microcontroladores. Teoría. Editorial Conosur. Pereira, Colombia.
10. Chen, Y.R (1983): Kinetic Analysis of Anaerobic Digestion of Pig manure and its Design Implications. Agricultural Wastes 8. Thomas, M.v. & R.A. Nordstedt, Sweden.
11. Chilingua, M. (2007): Costos 1. Inédito. Ibarra, Ecuador.
12. Collaguazo, G. (2007): Sistemas Microprocesados. Inédito. Ibarra, Ecuador.
13. Cupuerán, Freddy (2004): Aprovechamiento biotecnológico de residuos orgánicos para la obtención de biogás y subproductos, en la cuenca baja del lago San Pablo. Tesis de grado de la FICAYA – UTN.

14. De Juana J. (2007): Energías renovables para el desarrollo. Editorial Thomson Parainfo. Madrid, España.
15. DENA (2010): Energías renovables “Made in Germany”. El suministro de Energía Verde para hoy y para mañana. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Agencia Alemana de Energía. Berlín, Alemania.
16. Ecologist Magazine (2008): The Ecologist Central Book. English Edition. September. London – United Kingdom.
17. EIA – U.S. Energy Information Administration (2011): Annual Energy Outlook 2009 with Projections to 2030. Disponible en: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html>
18. Escuela Politécnica Nacional (2003): Sistemas de Instrumentación. Quito, Ecuador.
19. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1992): Biogas Processes for Sustainable Development. Disponible en: <http://ebookbrowse.com/biogas-processes-for-sustainable-development-pdf-d54567737>
20. FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2008): Oferta y demanda de Energía: Tendencias y Perspectivas. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0139s/i0139s03.pdf>
21. Fernandez, Hugo (2009): Estudio comparativo y aplicación de materia prima alternativa en Biodigestores unifamiliares de flujo continuo en la zona de Intag, cantón Cotacachi, Imbabura. Tesis de grado de la FICAYA – UTN.
22. Floyd, T. (1996): Fundamentos de Electrónica Digital. Quinta Edición. Editorial Limusa. México.
23. Fundación Presenca (1992): El Biogás y sus Aplicaciones; Colombia.
24. García, E. (2008): Compilador CCS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC. Primera Edición. Editorial Alfaomega. México.
25. Geolino Extra Magazin (2009): Energie, was die Welt in Schwung halt; Nro. 21. Deutschland.
26. Hoeneisen, Bruce (2006): Situación energética mundial con números. Universidad San Francisco de Quito.

27. Hubbert K. (1949): SCIENCE. Energy from Fossil Fuels. American Association for Advancement of Science. Vol. 109. Disponible en: <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/science1949/>
28. Hubbert K. (1970): The Energy Resources of the Earth. American Association for Advancement of Science. Disponible en: <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/energyypower/>
29. Insulza José Miguel (2008): Energy and Development in South America. Conflict and Cooperation. FLACSO. Disponible en: http://www.flacso.org/uploads/media/Energy_and_development_in_South_America.pdf
30. Jácome, W. (2005): Bases teóricas y prácticas para el diseño y evaluación de proyectos productivos y de inversión. Editorial Universitaria. Ibarra, Ecuador.
31. Klima Forum Declaration (2009): System Change not climate change. Copenhagen – Denmark.
32. López, A. (2011): Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/51144347/3-2-MANUAL-BIODIGESTOR>
33. Malvino, A. (2000): Principios de electrónica. Sexta Edición. Editorial McGraw Hill. Madrid, España.
34. Martí, J. (2008): Biodigestores Familiares. Guía de diseño y manual de instalación. GTZ. La Paz, Bolivia.
35. Morrison (1996): Química Orgánica. Editorial Iberoamericana. Quinta edición. Madrid, España.
36. Mott (1992): Diseño de elementos de máquinas. Editorial Prentice Hall. 2da. Edición.
37. National Geographic (2009): Ahorra energía. Edición en español. Marzo.
38. NN. UU. – Naciones Unidas (1998): Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
39. NN.UU. – Naciones Unidas (1987): Informe Nuestro Futuro común. Disponible en: <http://www.oarsoaldea.net/agenda21/files/Nuestro%20futuro%20comun.pdf>

40. NN.UU. – Naciones Unidas (2010): Objetivos de Desarrollo del Milenio. Informe 2010. Disponible en: http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/pdf/MDG_Report_2010_SP.pdf
41. Ode Magazin (2009): The solutions we need now. Special Copenhagen Edition. USA.
42. Ogata, Katsuhino (2005): Ingeniería de control moderno. 4ta. Edición. Editorial Prentice Hall. España.
43. OLADE – Organización Latinoamericana de Energía (2009): Informe de estadísticas energéticas 2009. Disponible en: <http://www.olade.org/informe.html>
44. Pallás, Areny R. (2004): Sensores y Acondicionadores de señal. 3ª Edición. 2004.
45. PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2002): Manual sobre Energías Renovables – Biomasa. Disponible en: www.bunca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf
46. PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2009): Informe anual 2009. Aprovechando la oportunidad verde. Disponible en: <http://www.unep.org/>
47. Revistas IEEE: Power and Energy. Ediciones Jul – Ago 2007, Sept. – Oct. 2007, Nov. – Dic 2007, Ene. – Feb. 2008, Mar. – Abr. 2008.
48. Sánchez, Miño Santiago (2003): Energías Renovables. Fundación Natura. Quito.
49. Schey, J. (2002): Procesos de Manufactura. Tercera Edición. Editorial McGraw Hill. México.
50. SENPLADES – Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (2009): Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013.
51. SIISE – Sistema de Indicadores sociales del Ecuador (2008): Censo de población y vivienda 2001 y Censo Nacional Agropecuario 2000.
52. Spiegel E., McArthur N., Norton R. (2010): La Nueva Era del Cambio Energético. Opciones para impulsar el futuro del planeta. Editorial McGraw Hill. México.
53. Torres, F. (2002): Robots y Sistemas Sensoriales. Segunda Edición. Editorial Prentice Hall. España.

54. Velarde, J. (2005): Diseño con microcontroladores. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
55. WWF (2008): Informe planeta vivo 2008. Disponible en: http://www.wwf.es/noticias/informes_y_publicaciones/?15992/Informe-Planeta-Vivo-de-WWF-2008
56. WWF Fundación Natura (2003): Energías Renovables conceptos y aplicaciones. Texto de consulta. Quito, Ecuador.
57. Yunus, Cengel, Michael Boles (1996): Termodinámica. Tomo I. Editorial Mc Graw – Hill. México.

ANEXOS

ANEXO 1

Características de los biodigestores tradicionales y criterios para el desarrollo del biodigestor propuesto

CARACTERÍSTICAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TIPOS DE BIODIGESTORES

Tabla A1.1. Biodigestores

DIGESTOR	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Balón hidráulico	El gas se almacena en una bolsa de plástico o PVC sobre el digestor.	<ul style="list-style-type: none"> - Costo bajo. - Facilidad de transporte y construcción. - Soporta altas temperaturas del digestor. - Limpieza no complicada. - Facilidad e vaciado y mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Corto período de vida (máx. tres a cuatro años). - Susceptible al daño. - No fomenta el empleo local.
Flujo horizontal	La digestión y el biogás de almacenan juntos en una bolsa de polietileno.	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de construcción. - Facilidad de construcción. - Muy adaptado a las zonas ganaderas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Corto período de vida (máx. 4 años). - Susceptible al daño debido a elementos cortopunzantes. - No presenta control contra los rayos ultravioletas, por lo que hay necesita de una cubierta. - Para aumentar la presión de gas a la salida es necesario colocar contrapesos sobre el gasómetro. - No tiene control en la producción de biogás.
Domo Fijo	El tanque de gas es fijo sobre el digestor	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de construcción. - Larga vida. - Construcción subterránea ahorra espacio y protege de cambios de temperatura. - Abre puestos de empleo local. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad en la presión del gas y hermeticidad en la unión. - Construcción requiere de supervisión profesional. - Presión de gas variable. - Bajas temperaturas de digestión.
Tambor flotante	Tanque de gas flota sobre otro de agua y puede ubicarse sobre el digestor o en otro lugar	<ul style="list-style-type: none"> - Operación simple. - Se puede ver el volumen de gas. - De fácil construcción. - Fácil mantenimiento de control. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo mayor por el tambor de metal. - Sujeto a corrosión. - Menor período de vida. - Mayor mantenimiento.

ANEXO 2

Características del tanque de polietileno

Figura A2.1. Tanque de polietileno de Plastigama

TANQUE DE POLIETILENO

PARA ALMACENAR PRODUCTOS DE CONSUMO HUMANO

- ✓ Bases planas, que permite mayor estabilidad.
- ✓ Hermético, con tapa de traba y válvula de aire incluido.
- ✓ Pared macisa, elaborado con polietileno 100% virgen.
- ✓ Higiénicos, paredes lisas evitan el crecimiento de bacterias.

Tapa de Traba.
Con seguro giratorio, garantiza la calidad del agua.

Capacidad
500 litros

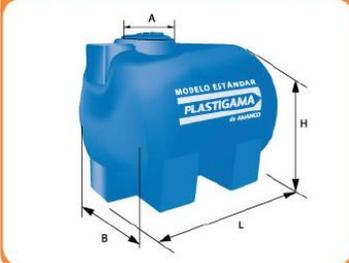
Bordes Planos
Facilitan la instalación



Bases planas

* Capacidad Total: Lleno hasta rebosar.
** Capacidad Útil: Lleno hasta donde el flotador permite.

Especificaciones Técnicas



Capacidad litros	B	L	H	A
	mm	mm	mm	mm
500	1073	1110	izq. 820 mm der. 790 mm	201.45
1300	1050	1622	1098	550

Fuente: www.plastigama.com.ec

ANEXO 3

Características del polietileno y sus propiedades

POLIETILENO

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados. Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente como película y para envases.

1. PROPIEDADES DEL POLIETILENO¹⁶

1.1. MECÁNICAS

- Gran resistencia al choque y a la flexión.
- Escaso desgaste.
- Buenas propiedades de deslizamiento.

1.2. TÉRMICAS

- Puede soportar temperaturas de hasta 80 °C, sin someterlo a grandes exigencias mecánicas.
 - Soporta temperaturas de hasta -200 °C sin romperse
- Conductividad térmica muy baja.

1.3. ABSORCIÓN DE AGUA

- Hidrófugo. No muestra fenómenos de hinchamiento.

1.4. DESLIZAMIENTO

- Tiene propiedades auto-lubricantes, especialmente en la fricción seca deslizante con metales, tales como: acero, latón, cobre. Valor medio del coeficiente de fricción: 0.25

¹⁶ <http://www.inoxidable.com/propiedades1.htm>

A continuación, se muestran algunas de las propiedades físicas:

Tabla A3.1. Propiedades del polietileno

CARACTERÍSTICAS	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
Grado de cristalinidad (%)	40 - 50	60 - 80
Densidad (g/cm ³)	0.915 - 0.935	0.94 - 0.97
Temperatura de fusión (°C)	105 - 110	130 - 135
Estabilidad Química	Buena	Excelente
Esfuerzo de ruptura(N/mm ²)	8.0 - 10	20 - 30
Elongación a ruptura (%)	20	12
Módulo elástico E(N/mm ²)	200	1000
Coefficiente de expansión lineal (k ⁻¹)	1.7*10 ⁻⁴	2*10 ⁻⁴
Temperatura máxima permisible (°C)	80	100
Temperatura de reblandecimiento (°C)	110	140

De acuerdo a la tabla anterior, el polietileno de alta densidad es el que ofrece las mejores propiedades, por lo cual es el que se utilizará en la construcción del depósito de almacenamiento de biogás.

ANEXO 4

Plano de construcción del sistema completo de biodigestión

Figura A4.1. Diagrama completo del Sistema de Biodigestión

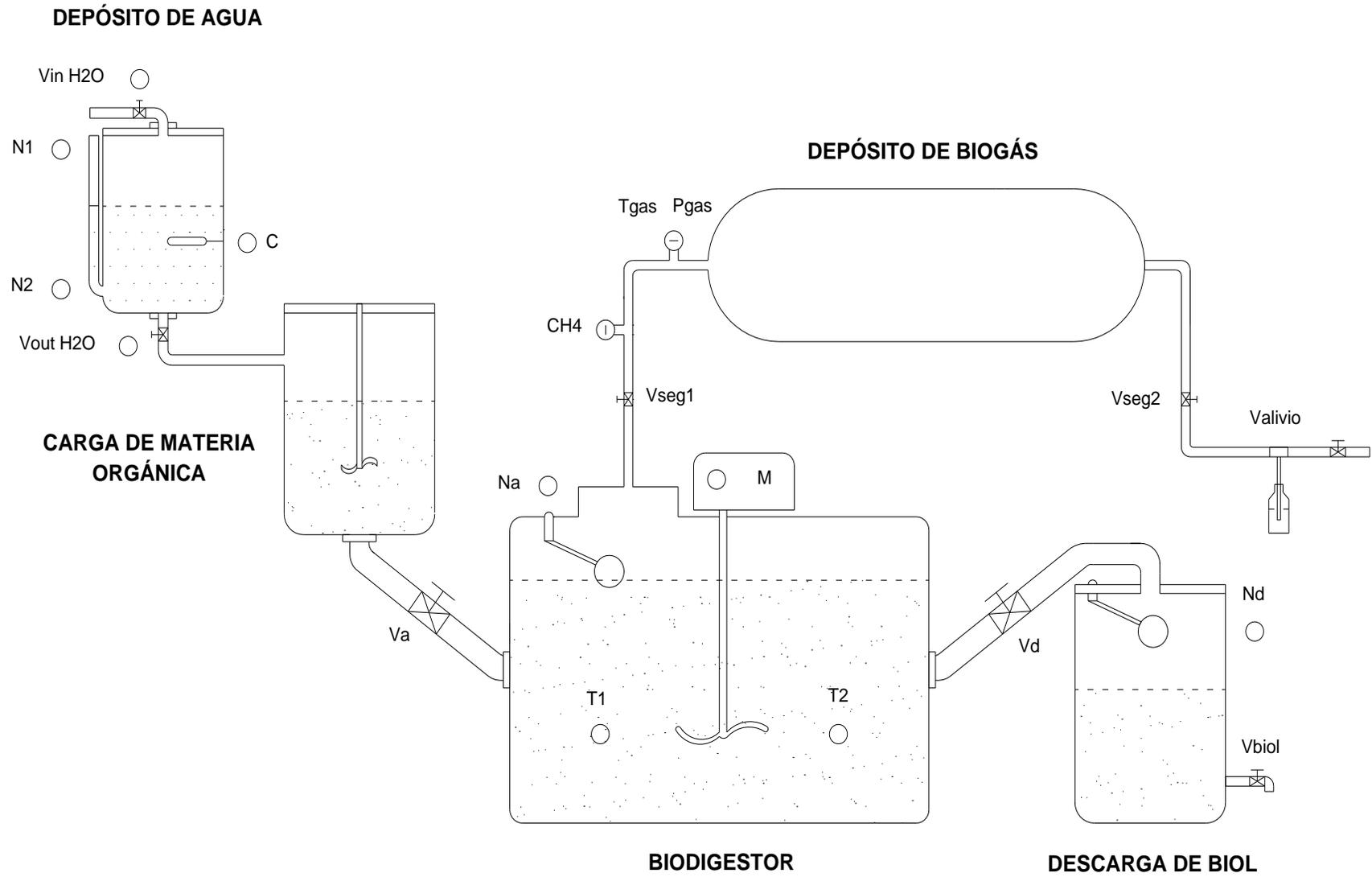


Tabla A4.1. Nomenclatura del sistema

NOMENCLATURA DEL SISTEMA	
DEPÓSITO DE AGUA	
Vin H2O	Válvula de ingreso de agua
Vout H2O	Válvula de salida de agua
N1	Sensor de nivel completo de agua
N2	Sensor de nivel bajo de agua
C	Calentador de agua
BIODIGESTOR	
Va	Válvula manual de ingreso de material
Vd	Válvula manual de descarga de material
Na	Sensor de nivel completo de materia
M	Motor de agitación
T1	Sensor de temperatura 1 de la materia
T2	Sensor de temperatura 2 de la materia
DEPÓSITO DE BIOGÁS	
Vseg1	Válvula manual de seguridad (En_gas)
Vseg2	Válvula manual de seguridad (Sal_gas)
CH4	Sensor de gas metano
Tgas	Sensor de temperatura del gas
Pgas	Sensor de presión del gas
Valivio	Válvula de alivio de gas
DESCARGA DE BIOL	
Nd	Sensor de nivel del tanque de descarga
Vbiol	Válvula de descarga de biol

ANEXO 5

Datos obtenidos de las pruebas realizadas al sistema y producción de biogás

Tabla A5.1. Datos obtenidos de las pruebas realizadas al sistema

Día	Temp_1	Temp_2	Rs	Ps	Presión	Tgas
1	19,6	19,8	9,5	1420	50,9	26,8
2	19,3	18,55	9,5	1.455	51,3	19,2
3	19,3	19,55	9,5	1455	51,7	19,2
4	20,3	19,55	9	247,3	53,1	20,9
5	19,55	19,06	9,4	572,6	54,1	23,2
6	20,3	19,55	9	570,6	55,1	20,1
7	20,3	19,55	9	247,3	57,4	41
8	20,3	19,3	8,7	129,7	60,4	40,7
9	21,5	20,52	8,7	0,51	62,2	18,3
10	23,4	22,48	9,2	46,1	65,2	20,2
11	22,5	21,49	9,5	39,39	68,1	36,7
12	21,5	21,1	9,2	25,1	69,3	36,5
13	21,5	21,1	9,3	15,3	71,1	31,1
14	22	21,1	9,3	504,1	72,9	35,2
15	22,48	21,5	9,4	869,3	74,8	35,1
16	21,99	21,01	9,5	908,2	75	31,3
17	22,48	21,5	9,4	950,4	75,2	19,6
18	22,5	21	9,4	970,6	75,1	19,6
19	21,5	20,5	9,4	850,7	75	27,5
20	20,3	19,5	9,5	1186,1	75,1	36,1
21	19,6	19,57	9,5	1200,1	75,1	36,4
22	21,5	21,01	9,5	1362,5	75,2	18,9
23	23,46	22,4	9,5	1362,6	75,1	19,4
24	21,48	21,01	9,5	1362,8	75,1	18,6
25	21,5	21,02	9,5	1362,5	75	36,7
26	21,5	21,01	9,5	1362,3	75,9	36,7
27	21,5	21,1	9,5	1363	75,1	36,5
28	19,57	19,6	9,48	1363,4	75,1	37,6
29	20,3	19,55	9,5	1374	75,1	42,1
30	20,5	19,3	9,5	1356,8	75,2	42,1
31	20,55	19,55	9,5	1356,5	75,2	42,1
32	20,55	19,55	9,5	1357,2	75,1	31,1
33	21,52	20,55	9,5	1357,3	75,3	31,9
34	19,55	20,03	9,5	1358,9	75,3	30,9
35	23,46	22,97	9,5	1357,9	75	26,5

Fuente: Autor

Tabla A5.2. Datos del volumen de producción de biogás

DÍA	METANO (60%) [m3/día]	CO2 (40%) [m3/día]	BIOGÁS [m3/día]
20	0,142	0,095	0,236
21	0,143	0,095	0,238
22	0,144	0,096	0,240
23	0,145	0,096	0,241
24	0,145	0,097	0,242
25	0,146	0,097	0,244
26	0,147	0,098	0,245
27	0,147	0,098	0,246
28	0,148	0,099	0,247
29	0,148	0,099	0,247
30	0,149	0,099	0,248
31	0,149	0,100	0,249
32	0,150	0,100	0,250
33	0,150	0,100	0,250
34	0,151	0,100	0,251
35	0,151	0,101	0,251
36	0,151	0,101	0,252
37	0,151	0,101	0,252
38	0,152	0,101	0,253
39	0,152	0,101	0,253
40	0,152	0,102	0,254
41	0,153	0,102	0,254
42	0,153	0,102	0,255
43	0,153	0,102	0,255
44	0,153	0,102	0,255
45	0,153	0,102	0,256
46	0,154	0,102	0,256
47	0,154	0,103	0,256
48	0,154	0,103	0,257
49	0,154	0,103	0,257
50	0,154	0,103	0,257
51	0,154	0,103	0,257
52	0,155	0,103	0,258
53	0,155	0,103	0,258
54	0,155	0,103	0,258
55	0,155	0,103	0,258

56	0,155	0,103	0,259
57	0,155	0,104	0,259
58	0,155	0,104	0,259
59	0,156	0,104	0,259
60	0,156	0,104	0,259
61	0,156	0,104	0,260
62	0,156	0,104	0,260
63	0,156	0,104	0,260
64	0,156	0,104	0,260
65	0,156	0,104	0,260
66	0,156	0,104	0,260
67	0,156	0,104	0,261
68	0,156	0,104	0,261
69	0,156	0,104	0,261
70	0,157	0,104	0,261
71	0,157	0,104	0,261
72	0,157	0,104	0,261
73	0,157	0,105	0,261
74	0,157	0,105	0,261
75	0,157	0,105	0,262
76	0,157	0,105	0,262
77	0,157	0,105	0,262
78	0,157	0,105	0,262
79	0,157	0,105	0,262
80	0,157	0,105	0,262
81	0,157	0,105	0,262
82	0,157	0,105	0,262
83	0,157	0,105	0,262
84	0,157	0,105	0,262
85	0,158	0,105	0,263
86	0,158	0,105	0,263
87	0,158	0,105	0,263
88	0,158	0,105	0,263
89	0,158	0,105	0,263
90	0,158	0,105	0,263
91	0,158	0,105	0,263
92	0,158	0,105	0,263
93	0,158	0,105	0,263
94	0,158	0,105	0,263
95	0,158	0,105	0,263
96	0,158	0,105	0,263

97	0,158	0,105	0,263
98	0,158	0,105	0,264
99	0,158	0,105	0,264
100	0,158	0,105	0,264

ANEXO 6

Código fuente del microcontrolador

**/*PROGRAMA PARA EL CONTROL DEL TANQUE DE AGUA Y NIVELES DEL SISTEMA DE
BIODIGESTIÓN**

Elaborado por: Alvaro Fuentes*/

```

#include <16F877A.h>                //Pic utilizado
#define adc=8
#include <XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP> //Configuración de fusibles
#include <delay (clock=4000000)>    //Oscilador
#include <math.h>                   //Librería para calculos matemáticos
#define use_portb_lcd TRUE         //LCD puerto B
#include <lcd.c>                    //Librería LCD
#define portd=0x08                 //Dirección puerto D

//PROGRAMA PRINCIPAL

void main()
{
    int8 temp1;                    //Declaración de variables
    float temp;
    set_tris_d(0x01);              //Puerto D como entrada
    set_tris_a(0x01);              //Puerto A como entrada
    set_tris_c(0b00000000);        //Puerto D como salida
    disable_interrupts(GLOBAL);    //Deshabilita interrupciones globales

    lcd_init();                    //Inicializa LCD
    lcd_gotoxy(3,1);               //Coloca el cursor en la posición 3-1
    lcd_putc(" CONTROL H2O");      //Imprime en la pantalla
    lcd_gotoxy(6,2);               //Coloca el cursor en la posición 6-2
    lcd_putc("IN-OUT");            //Imprime en la pantalla
    delay_ms(3000);                //Retardo de 3 segundos
    lcd_putc("\f");                 //Limpia pantalla

    for(;;)
    {
        setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Activa reloj interno ADC
        Setup_adc_ports(RA0_ANALOG);    //Puerto 0 analógico

//Sensor de temperatura H2O

        set_adc_channel(0);            //Habilidación canal 0
        delay_us(20);                  //Retardo 20 ms
        temp1=read_adc();               //Lectura canal 0
        temp=(temp1*0.01960784314*100); //Conversión del valor leído a valor real °C

//Válvulas de carga y descarga de H2O

        if(input(PIN_D3)){             //Verifica estado de Pin D3 (Inicio)

```

```

delay_ms(1000);
output_low(PIN_C3);           //Pin C3 apagado
output_low(PIN_C2);           //Pin C2 apagado
output_low(PIN_C4);           //Pin C4 apagado
output_high(PIN_C1);          //Activa pin C1
lcd_gotoxy(1,1);              //Coloca el cursor en la posición 1-1
lcd_putc(" Vin H2O=ON ");     //Imprime en la pantalla
}

else {

if(input(PIN_D1)){            //Verifica estado Pin D1 (Nivel alto)

lcd_gotoxy(1,1);              //Coloca el cursor en la posición 1-1
lcd_putc(" Niv_S1=ON ");      //Imprime en la pantalla
output_high(PIN_C4);          //Activa Pin C4
output_low(PIN_C3);           //Pin C3 apagado
output_low(PIN_C1);           //Pin C1 apagado
delay_ms(3000);
output_high(PIN_C2);          //Activa Pin C2
output_low(PIN_C4);           //Apaga Pin C4
output_low(PIN_C1);           //Apaga Pin C1
lcd_putc(" Vout H2O=ON ");    //Imprime en la pantalla
}

else{

if(input(pin_D0)){            //Verifica estado Pin D0 (Nivel bajo)

delay_ms(1000);               //Retardo 1 segundo
lcd_gotoxy(1,1);              //Coloca el cursor en la posición 1-1
lcd_putc(" Niv_S2=ON ");      //Imprime en la pantalla
output_high(PIN_C3);          //Activa Pin C3
output_low(PIN_C5);           //Pin C5 apagado
output_low(PIN_C2);           //Pin C2 apagado
output_low(PIN_C4);           //Pin C4 apagado
delay_ms(500);                //Retardo 500 ms
output_low(PIN_C3);           //Apaga Pin C3
}

else {

if(input(pin_D2)){            //Verifica estado Pib D2 (Stop)

lcd_gotoxy(1,1);              //Coloca el cursor en la posición 1-1
lcd_putc(" STOP ");           //Imprime en la pantalla
output_c(0x00);               //Apaga puerto C

```

```

delay_ms(1000);           //Retardo 1 s
lcd_gotoxy(1,1);         //Coloca el cursor en la posición 1-1
lcd_putc(" INICIO ");    //Imprime en la pantalla
}

else{

if(input(pin_D2)&&input(pin_D3)){ //Verifica estado Pines D2 y D3

output_c(0x00);
}
}
}
}

//Nivel tanque biodigestor

if(input(pin_D4))        //Verifica estado Pin D4

output_high(pin_C6);     //Activa Pin C6

else{

output_low(pin_c6);     //Apaga Pin C6
}

//Nivel tanque de descarga de sustrato

if(input(pin_D5))        //Verifica estado Pin D5

output_high(pin_C7);     //Activa Pin C7

else{

output_low(pin_c7);     //Apaga Pin C7
}

lcd_gotoxy(4,2);         //Coloca el cursor en la posición 4-2
printf(lcd_putc, "\n T_H2O = %.2fC", temp); //Imprime en la pantalla T°C

}
}
//Fin for
//Fin de programa

```

**/*PROGRAMA PARA EL CONTROL DEL BIODIGESTOR Y DEPÓSITO DE BIOGÁS
Elaborado por: Alvaro Fuentes*/**

```

#include <16F877A.h> //Pic utilizado
#device adc=10
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP //Configuración de fusibles
#use delay (clock=4000000) //Oscilador
#include <math.h> //Librería para calculos matemáticos
#define use_portb_lcd TRUE //LCD puerto B
#include<lcd420.c> //Librería LCD 16X4
#Byte trisd=0x00 //Dirección puerto D
#byte portd=0x08
#byte porte=0x09 //Dirección puerto E

//PROGRAMA PRINCIPAL

void main()
{
    int8 temp1,temp2,met; //Declaración de variables de ecuación
    int16 q,t;
    float A,B, Rs, Ps, Vrl, x, y, z, Rs1, Ps1;
    float tv,tr,temp,y1,tf,error;
    float p,presion;
    int cnt=0;
    bit_set(trisd , 1);
    set_tris_d(0x01); //Puerto D como entrada

    lcd_init(); //Inicializa LCD
    lcd_putc(" BIODIGESTOR"); //Imprime en la pantalla
    lcd_gotoxy(4,2); //Coloca el cursor en la posición 4-2
    lcd_putc("AUTOMATICO"); //Imprime en la pantalla
    delay_ms(2000); //Retardo de 2 segundos
    lcd_putc("\n"); //Limpia pantalla

    for(;;)
    {
        setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Activa reloj ADC interno
        Setup_port_a(ALL_ANALOG); //Todo el Puerto RA analógico

//Temperatura 1

        set_adc_channel(0); //Habilitación canal 0
        delay_us(20); //Retardo 20 ms
        temp1=read_adc(); //Lectura canal 0
        A=(temp1*(0.488758553274)); //Conversión del valor leído a valor real °C

//Temperatura 2

        set_adc_channel(1); //Habilitación canal 1
        delay_us(20); //Retardo 20 ms
        temp2=read_adc(); //Lectura canal 1
        B=(temp2*(0.488758553274)); //Conversión del valor leído a valor real °C
    }
}

```

//Gas metano CH4

```

set_adc_channel(2); //Habilitación canal 2
delay_us(20); //Retardo 20 ms
met=read_adc(); //Lectura canal 2
Vrl=(met*(0.488758553274)); //Conversión del valor leído a valor real
Rs=((5/Vrl)-1)*10; //Cálculos matemáticos (R de sensibilización)
Rs1=Rs*(-1);

```

```

x=(Rs+10);
y=(Rs+10);
z=x*y;
Ps=(25*(Rs/z)); //Función Ps (Presencia de CH4)
Ps1=Ps*(-1);

```

//Presión

```

set_adc_channel(3); //Habilitación canal 3
delay_us(20); //Retardo 20 ms
q=read_adc(); //Lectura canal 3
p=5.0*q/1024.0; //Conversión del valor leído a valor real
presion=(0.475+p)/0.045; //Cálculos matemáticos

```

//Temperatura del Gas

```

set_adc_channel(4); //Habilitación canal 4
delay_us(20); //Retardo 20 ms
t=read_adc(); //Lectura canal 4
tv=5.0*t/1024.0; //Conversión del valor leído a valor real
tr=tv*5000.0/(5.0-tv);
y1=log(tr/10000.0);
y1=(1.0/298.15)+(y1*(1.0/4050.0));
temp=1.0/y1;
temp=temp-273.15;
if(temp>=0 && temp<=85)
tf=1.0;
else tf=3.0;
error=tf*1.5; //Cálculo del error de presión con la temperatura
presion=presion-error; //Presión en Kpa

```

//Condiciones del selector de casos

```

if((input(PIN_D1)==1)) //Calcula número de veces de pulso
cnt++; //Incrementa
if(cnt>=3) //Número de casos
cnt=0; //Regresa al 1er. caso

```

//Activación del agitador

```

if(A>=35||B>=35){ //Verfica temperatura máxima en los dos puntos
output_high(pin_c0); //Si T1 o T2 cumplen condición, activa Pin C0
}
else{ //Caso contrario
output_low(pin_c0); //Apaga Pin C0
}

if(A<=15||B<=15){ //Verfica temperatura mínima en los dos puntos
output_high(pin_c0); //Si T1 o T2 cumplen condición, activa Pin C0
}

```

```

else{
output_low(pin_c0);
}
}
if(input(pin_d0)){
output_high(pin_c0);
delay_ms(10000);
output_low(pin_c0);
}

//Caso contrario
//Apaga Pin C0

//Verifica estado Pin D0
//Activa Pin C0
//Retardo 10 segundos
//Apaga Pin C0

//Selección de casos

Switch (cnt){
//Según # de pulsos del botón se elige el menú

case 0:
//Temperatura
//Coloca el cursor en la posición 1-1
printf(lcd_putc," TEMPERATURA");
//Imprime en la pantalla
lcd_gotoxy(1,2);
//Coloca el cursor en la posición 1-2
printf(lcd_putc,"\n T1=%4.2f ",A);
//Muestra valor de T1 en la pantalla
lcd_gotoxy(1,3);
//Coloca el cursor en la posición 1-3
printf(lcd_putc,"\nT2=%4.2f ",B);
//Muestra valor de T2 en la pantalla
lcd_gotoxy(1,4);
lcd_putc(" ");

break;

case 1:
//Gas Metano
//Coloca el cursor en la posición 1-1
printf(lcd_putc," GAS METANO ");
//Imprime en la pantalla
lcd_gotoxy(1,2);
//Coloca el cursor en la posición 1-2
printf(lcd_putc,"\n Rs=%2.1f ",Rs1);
//Muestra valor de Rs en la pantalla
lcd_gotoxy(1,3);
//Coloca el cursor en la posición 1-3
printf(lcd_putc,"\nPs=%2.1f",Ps1);
//Imprime valor de Ps en la pantalla
lcd_gotoxy(1,4);
lcd_putc(" ");

break;

case 2:
//Presión
//Coloca el cursor en la posición 1-1
printf(lcd_putc," PRESION ");
//Imprime en la pantalla
lcd_gotoxy(1,2);
//Coloca el cursor en la posición 1-2
printf(lcd_putc,"\n P=%2.1fKpa",presion);
//Muestra valor de P en la pantalla
lcd_gotoxy(1,3);
//Coloca el cursor en la posición 1-3
printf(lcd_putc,"\nT=%2.1fC ",temp);
//Muestra valor de T en la pantalla
lcd_gotoxy(1,4);
lcd_putc(" ");
}
delay_ms(100);
}
}
//Fin switch
//Retardo 100 ms
//Fin for
//Fin de programa

```

ANEXO 7

**PCB del dispositivo de control del tanque de agua y nivel de los tanques de
digestión y descarga**

ANEXO 8

PCB del dispositivo de control del biodigestor

