



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

TESIS DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO

TEMA:

DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOGAS EN EL CANTÓN QUEVEDO DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS PARA EL DEPÓSITO DE DESECHOS MUNICIPALES EN EL AÑO 2014.

AUTOR:

RODGER BENJAMIN SALAZAR LOOR

DIRECTOR DE TESIS:

ING. MEC. LUIS GABRIEL PICO SALTOS, M.Sc.

QUEVEDO - ECUADOR

2015

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Rodger Benjamín Salazar Loor, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Rodger Benjamín Salazar Loor
C.I. 092578774-9

CERTIFICACIÓN

El suscrito, Ing. Mec. Luis Gabriel Pico Saltos, M.Sc; Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el egresado Sr. Rodger Benjamín Salazar Loor, realizó la tesis de grado titulada: **“DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOGAS EN EL CANTÓN QUEVEDO DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS PARA EL DEPÓSITO DE DESECHOS MUNICIPALES EN EL AÑO 2014”**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánica; bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Mec. Luis Gabriel Pico Saltos, M.Sc.
Director de Tesis



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

TESIS DE GRADO:

**“DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE BIOGAS EN EL CANTÓN QUEVEDO DE LA
PROVINCIA DE LOS RÍOS PARA EL DEPÓSITO DE DESECHOS
MUNICIPALES EN EL AÑO 2014.”**

Presentado al Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la
Ingeniería como requisito previo a la obtención del título de:

Ingeniero Mecánico

APROBADO POR:

Ing. Luis Enrique Mera Chinga, Msc.
Presidente del Tribunal de Tesis

Ing. Patricio Rubén Alcocer Quinteros, Msc.
Miembro del Tribunal de Tesis

Ing. Leonardo Arturo Baque Mite, Msc.
Miembro del Tribunal de Tesis

QUEVEDO - ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

El siguiente trabajo es el resultado del esfuerzo y dedicación por alcanzar uno de los más anhelados sueños y aspiraciones de superación personal, con una gran satisfacción manifiesto que de no ser por el apoyo y conocimiento de las siguientes personas, no hubiere concluido este proyecto de investigación, a ellos mi más sincero agradecimiento:

A Dios por su amor, respaldo, fortaleza y guía durante toda mi vida.

A mis padres y hermanos por su respaldo absoluto e inspiración a mejorar continuamente.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Mecánica y en ella a las ilustres Autoridades y docentes quienes estuvieron dispuestos a compartir sus conocimientos y brindarme la orientación necesaria para formarme como profesional y como ser humano.

Al Ing. Mec. Luis Gabriel Pico Saltos, M.Sc; quien con su amplia experiencia profesional ha sido un maravilloso tutor y guía para el desarrollo de este trabajo investigativo.

A aquellas personas que directa e indirectamente contribuyeron de alguna manera en la elaboración de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios por haberme brindado la vida, la capacidad y el entendimiento necesario para desarrollarme como individuo, superando diversas limitaciones que se me han presentado en la vida y fortaleciéndome cada día más en sus caminos.

A mis padres, Rodger Salazar y Alicia Loor por inculcar esos valores éticos tan necesarios en la actual sociedad y el brindarme ese amor incondicional que solo un padre y madre pueden ofrecer.

A mis hermanos Cristopher Salazar y Sara Salazar por el cariño y apoyo que siempre han demostrado por mí.

DUBLIN CORE (ESQUEMAS DE CODIFICACION)

1.	Título /Title	M	Diseño y simulación de un sistema de generación eléctrica mediante la utilización de biogás en el cantón Quevedo de la provincia de Los Ríos para el depósito de desechos municipales en el Año 2014.
2.	Creador /Creator	M	Rodger Benjamín Salazar Loor Universidad Técnica Estatal de Quevedo
3.	Materia /Subject	M	Formulación y Evaluación de proyectos
4.	Descripción /Description		<p>La presente investigación tiene como objetivo realizar el diseño y simulación de los equipos y elementos necesarios para la generación de energía eléctrica utilizando como materia prima la biomasa procedente de residuos sólidos urbanos.</p> <p>Para ello se ha elaborado planos, esquemas, y diagramas, los cuales en colaboración al software de simulación permite determinar la viabilidad del proyecto, reflejando un gran grado de satisfacción en aspectos técnicos, económicos, culturales y medioambientales.</p>
5.	Editor /Publiser	M	FCI: Carrera de Ingeniería en Mecánica, Salazar Loor, Rodger Benjamín.
6.	Colaborador /Contributor	O	Ninguno
7.	Fecha /Date	M	Julio 2015
8.	Tipo /Type	M	Tesis de Grado; Artículo
9.	Formato /Format	R	.docx MS Word 2013
10.	Identificador /Identifier	M	http://biblioteca.uteq.edu.ec
11.	Fuente /Source	O	Diseño y Simulación
12.	Lenguaje /Languaje	M	Español
13.	Relación /Relation	O	Ninguno
14.	Cobertura /Coverage	O	Localización: Ingeniería Mecánica.
15.	Derechos /Rights	M	Ninguno
16.	Audiencia /Audience	O	Tesis de Grado

ÍNDICE

	Pág.
PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
DUBLIN CORE (ESQUEMAS DE CODIFICACION).....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
GLOSARIO DE TERMINOS.....	xvi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	2
1.2. Problematización.....	3
1.2.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2.2. Formulación del problema.....	3
1.2.3. Sistematización del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Fundamentación teórica.....	8
2.1.1. Aprovechamiento de la biomasa.....	8
2.1.2. Reseña histórica del biogás.....	10

2.1.2.1.	Los biodigestores en la actualidad	13
2.1.2.2.	Ventajas en el uso de biodigestores	14
2.1.2.3.	Beneficios del uso de energía	15
2.1.2.4.	Beneficios medio ambientales.....	15
2.1.2.4.	Beneficios de carácter financiero	16
2.1.2.5.	Beneficios económicos en la sociedad	16
2.1.2.6.	Digestión anaeróbica	17
2.1.2.8.	Descripción del proceso.....	18
2.1.3.	Fases para la fermentación anaerobia.....	19
2.1.3.1.	Hidrolisis	19
2.1.3.2.	Acidogénesis.....	19
2.1.3.3.	Acetogénesis.....	20
2.1.3.4.	Metanogénesis.....	20
2.1.3.5.	Principales factores que influyen la producción de biogás	21
2.1.3.6.	Ausencia De Oxígeno	22
2.1.4.	Características de la Biomasa.....	22
2.1.4.1.	Almacenamiento	25
2.1.4.2.	Preparación de la biomasa	26
2.1.4.3.	Clasificación, eliminación de materia extraña	26
2.1.4.4.	Higienización.....	27
2.1.4.5.	Troceado, trillado de la biomasa	27
2.1.4.6.	Mezcla y homogenización	28
2.1.4.7.	Alimentación del digestor	28
2.1.5.	Masa seca.....	29
2.1.5.1.	Masa volátil	29
2.1.5.2.	Carga orgánica volumétrica	30
2.1.5.3.	Temperatura del proceso	31
2.1.5.4.	Sensibilidad de las bacterias.....	33
2.1.5.5.	Ventajas de los diferentes rangos de temperatura.....	34
2.1.5.6.	Influencia de la temperatura sobre aspectos físico-químicos.....	34
2.2.	Tiempo de retención hidráulica	36
2.2.1	Acidez	38
2.2.2.	Alcalinidad.....	41
2.2.3.	Porcentaje de degradación	42
2.2.4.	Nutrientes.....	43
2.3.	Agitación - mezclado.....	43

2.3.1.	Factores que impiden una apropiada producción de biogás.....	44
2.3.2.	Nitrógeno con contenido de amoníaco.....	46
2.3.3.	Ácidos grasos volátiles.....	48
2.3.4.	Ácidos grasos con cadena larga	49
2.3.5	Compuestos de azufre para sistemas anaeróbicos	49
2.3.6.	Cationes y metales pesados	50
2.3.7.	Desinfectantes y antibióticos.....	51
2.4.	Sulfatos	52
2.4.1	Relación carbono - nitrógeno (C: N).....	55
2.5	Simulación en Solidworks	63
2.5.1	Diseño en BiodigestorPro	64
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		65
3.1.	Materiales y métodos	66
3.1.2.	Métodos de investigación.....	66
3.1.2.1.	Deductivo	66
3.1.2.2.	Inductivo.....	67
3.1.2.3.	Analítico	67
3.1.2.4.	Sintético	67
3.2.	Tipo de investigación	67
3.2.1.	Descriptiva	67
3.2.2.	De campo.....	68
3.2.2.1.	Entrevista	68
3.2.3.	Documental.....	68
3.3.	Diseño de investigación	68
3.3.1.	No Experimental.....	68
3.3.1.1.	Transeccional.....	69
3.4.	Población y muestra.....	69
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS		70
4.1.	Resultados	71
4.1.1.	Resultados de la entrevista.....	71
4.1.2.	Dimensionamiento y diseño del sistema de biodigestores.....	75
4.1.2.1.	Sistema de agitación.....	75
4.1.2.2.	Selección del motor.....	75
4.1.2.3.	Cálculo de transmisión por bandas	76

4.1.2.4.	Elección de correas.....	83
4.1.2.5.	Eje de agitación.....	83
4.1.3.	Biodigestor	85
4.1.3.1.	Lecho de secado de lodos	88
4.1.3.2.	Tanque de alimentación.....	89
4.1.3.3.	Tanque de descarga	90
4.1.3.4.	Bombas.....	91
4.1.4.	Datos básicos de biomasa	92
4.1.4.1.	Datos hidrológicos.....	92
4.1.4.2.	Tipo de biomasa y alimentación del biodigestor.....	92
4.1.4.3.	Esquema del sistema del biodigestor.....	94
4.1.5.	Factibilidad	96
4.1.5.1.	Determinación de inversiones	96
4.1.5.2.	Financiamiento.....	99
4.1.5.3.	Amortización de la deuda.....	99
4.1.5.4.	Depreciaciones y amortizaciones.....	102
4.1.5.5.	Ingresos	104
4.1.5.6.	Costos de producción	104
4.1.5.7.	Flujo de caja.....	105
4.1.5.8.	Tasa de descuento.....	107
4.1.5.9.	Valor actual neto	107
4.1.5.10.	Tasa interna de retorno.....	108
4.1.5.11.	Periodo de recuperación de la inversión	108
4.1.5.12.	Relación del costo/beneficio	110
4.2.	Discusión	111
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		113
5.1.	Conclusiones.....	114
5.2.	Recomendaciones	116
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....		117
6.1.	Literatura citada	118
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....		124

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cantidades de toneladas de desechos sólidos del GAD de Quevedo. Año 2.014.....	72
Cuadro 2. Demanda Proyectada de áreas de concesión de empresas eléctricas de distribución.....	74
Cuadro 3. Especificaciones Técnicas del motor I.....	75
Cuadro 4. Especificaciones Técnicas del motor II.....	76
Cuadro 5. Factores de servicio para bandas V.....	76
Cuadro 6. Determinación del tamaño de la polea.....	78
Cuadro 7. Determinación de longitud de la correa.....	80
Cuadro 8. Especificaciones de la correa y polea.....	83
Cuadro 9. Dimensiones del eje de agitación.....	84
Cuadro 10. Especificaciones para planchas estructurales de acero al carbono de mediana resistencia mecánica.....	85
Cuadro 11. Dimensionamiento standard y pesos.....	85
Cuadro 12. Especificaciones membranas EPDM-AQFlex.....	87
Cuadro 13. Dimensionamiento del biodigestor.....	88
Cuadro 14. Dimensionamiento del tanque de alimentación.....	90
Cuadro 15. Dimensionamiento del tanque de descarga.....	90
Cuadro 16. Especificaciones de la bomba.....	92
Cuadro 17. Datos hidrológicos.....	92
Cuadro 18. Sustrato para la alimentación del biodigestor.....	93
Cuadro 19. Datos hidráulicos del biodigestor.....	93
Cuadro 20. Producción de biogás, energía y equivalencias energéticas.....	93
Cuadro 21. Equivalencias CO ₂	93
Cuadro 22. Producción Específica BIOGÁS (Nm ³).....	93
Cuadro 23. Producción Específica CH ₄ (Nm ³).....	94
Cuadro 24. Equivalencias energéticas biogás.....	94
Cuadro 25. Producción de fertilizante orgánico.....	94
Cuadro 26. Resumen de las estructuras.....	97
Cuadro 27. Características equipo electromecánico.....	97
Cuadro 28. Presupuesto estimado para el Biodigestor sobre Tierra.....	97
Cuadro 29. Presupuesto del tanque de descarga.....	98
Cuadro 30. Presupuesto del lechado de secado de lodos.....	98

Cuadro 31. Inversión requerida para la construcción del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica	99
Cuadro 32. Amortización del préstamo del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.....	99
Cuadro 33. Depreciación de las maquinarias y equipos del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica	103
Cuadro 34. Ingresos generados por el sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.....	104
Cuadro 35. Costos de producción del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.....	104
Cuadro 36. Flujo de Caja proyectado del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.....	106
Cuadro 37. Datos para el cálculo de la tasa de descuento.....	107
Cuadro 38. Flujos acumulados para el cálculo de periodo de recuperación de la inversión.....	109

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. Proceso de Producción para la generación de energía eléctrica utilizando el biogás.	62
Gráfico 2. Cantidades de toneladas de desechos sólidos del GAD de Quevedo. Año 2.014.	72
Gráfico 3. Selección de bandas en V industriales de sección angosta.	77
Gráfico 3. Determinación de la potencia nominal	78
Gráfico 4. Determinación de potencias adicionales.....	79
Gráfico 6. Determinación del ángulo de contacto.....	81
Gráfico 7. Determinación del factor de corrección de la correa.....	82
Gráfico 8. Dimensiones para poleas.	83
Gráfico 9. Diseño del eje de agitación.....	84
Gráfico 10. Diseño de soporte para el eje de agitación.....	84
Gráfico 11. Diseño de aletas planas.....	85
Gráfico 12. Diseño de la envoltura metálica del biodigestor.....	86
Gráfico 13. Diseño completo del biodigestor.....	87
Gráfico 14. Diseño del biodigestor (seccionado).....	88
Gráfico 15. Diseño del lecho de secado.....	89
Gráfico 16. Diseño del tanque de alimentación.....	89
Gráfico 17. Diseño de tanque de descarga.....	90
Gráfico 18. Bomba seleccionada.....	91
Gráfico 19. Vista Superior (Planta).....	95
Gráfico 20. Vista Superior (Biodigestor).....	95
Gráfico 21. Vista Frontal (Biodigestor).....	96
Gráfico 22. Vista Seleccionada (Biodigestor).....	96

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Entrevista al Gerente de la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental	125
Anexo 2. Proyección de la tasa de Inflación del Ecuador. Período 2010-2020.....	126

GLOSARIO DE TERMINOS

m ³	metros cúbicos
°C	grados centígrados
Km	kilómetros
MW	megawatts
CO ₂	dióxido de carbono
CH ₄	metano
H ₂ S	ácido sulfhídrico
N ₂	dinitrógeno
pH	peso de hidrógeno
C	carbono
N	nitrógeno
K	potasio
Na	sodio
Mn	manganeso
Mg	magnesio
oTs	masa volátil
Ca(OH) ₂	cal hidratada
CaO	cal virgen
Na ₂ CO ₃	carbonato de sodio
NaHCO ₃	bicarbonato de sodio
NaOH	hidróxido de sodio
Mol	medida de cantidad de sustancia
l	litro
gr	gramos
NH ₄	amonio
NH ₃	amoniaco
Mg	miligramos
C/N	relación carbono-nitrógeno
GAD	gobierno autónomo descentralizado
Solidworks	Software de diseño y simulación
Biodigestor Pro	Software de dimensionamiento y cálculo de biodigestores
kW	kilowatts
ATEX	Appareils destinés à être utilisés en Atmosphères Explosives.
ASTM	American Society for Testing and Materials
EPDM	ethylene propylene diene terpolymer
MS	masa seca
MV	masa volátil
Nm ³	metros cúbicos bajo condiciones de presión normales
MWh	megawatts por hora
BIESS	Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis tiene como finalidad la de diseñar y simular un sistema de digestión anaerobio para el aprovechamiento energético del cantón Quevedo, de tal forma que se pudiera determinar el potencial de la energía de la biomasa.

Para esto se desarrolló una investigación profunda de la forma en que se aprovecha esta energía, es decir, como se desenvuelve el proceso de digestión anaeróbica, los factores que debe reunir la biomasa para que la generación de biogás sea adecuada, los equipos y maquinarias que deben estar involucrados, etc.

Desafortunadamente en nuestro país y otros cuantos países latinoamericanos, no se ha alcanzado una visión global de los beneficios en cuanto a la implementación de este tipo de energías, por lo que existen ciertos vacíos de información y gestión para el aprovechamiento energético, el cual tiene como pioneros a países desarrollados, la mayor parte dentro del continente Europeo.

Por esta razón se solicitó asesoramiento y respaldo técnico e informativo a una Empresa Alemana llamada Aqualimpia, la cual tiene una trayectoria y experiencia larga en el manejo de esta energía, la misma que facilitó el software BIODIGESTOR PRO. Este software permitió determinar las condiciones y parámetros adecuados para la producción de biogás, energía eléctrica e incluso la cantidad de derivados, los cuales contienen un aporte considerable para la economía.

El diseño fue desarrollado en el entorno del software Solidworks, el cual permitió recrear y bosquejar piezas y partes, de tal manera que se pudo desarrollar y dimensionar los equipos necesarios para la producción de biogás. Además el mismo software posee una interface de simulación que permitió ejecutar el ciclo del proceso que efectuaría el sistema de digestión y cogeneración en la vida real.

Finalmente se determinó que la inversión requerida para la implantación del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica es de 3.560.331 dólares. Además se estableció un VAN de 4.954.507,01 USD; un TIR de 39,03% y un B/C de 3,60 USD por cada dólar invertido. Esta inversión se estaría recuperando un periodo de 2 años, 6 meses y 21 días de las operaciones del sistema, por lo tanto se determina que el proyecto es factible.

ABSTRACT

This thesis aims to design and simulate a system of anaerobic digestion for the use of energy in Quevedo city in order to determine the potential of biomass energy.

It was developed an exhaustive investigation of how this energy is used, as the anaerobic digestion process develops, factors that biomass should have for biogas generation, equipment and machinery must be involved, etc.

Unfortunately in our country and a few other Latin American countries, has not reached an overview of the benefits in terms of the implementation of this type of energy, so that there are certain holes in information and management for energy recovery, which has the pioneers developed countries, most within the European continent.

Therefore advice and technical and information support was requested at a German company called Aqualimpia, which has a long experience in the management of this energy. This company facilitated the BIODIGESTOR PRO software which allowed to determine the conditions and appropriate parameters production of biogas, electricity and even the amount of derivatives containing a considerable contribution to the economy.

The design was developed in the environment of SolidWorks software, which allows recreating and sketching pieces and parts, so that could develop and size the equipment necessary for the production of biogas. Additionally the same software has an interface that allowed simulation run cycle process that would affect the digestion system and cogeneration in real life.

Finally, it was determined that the investment required to implement the system of the digester to generate electricity is \$ 3,560,331. Moreover, an NPV of \$ 4,497,412.58 was established; a TIR of 40.76 % and B / C \$ 2.60 for every dollar invested. This investment would be recovering in a period of 2 years, 6 months

and 21 days of operations of the system, therefore it is determined that the project is feasible.

CAPÍTULO I.

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

En la actualidad la energía eléctrica proporcionada mediante combustibles fósiles, así como los avances en tecnología han producido ciertos efectos negativos sobre el ambiente, este deterioro está vinculado con las actividades industriales que se realizan diariamente en nuestro medio, por lo que es de vital importancia ejercer cierto grado de consideración a diversas alternativas de aprovechamiento energético.

El consumo de energía eléctrica cada vez es mayor en nuestra sociedad, por lo que la necesidad de buscar nuevas fuentes de abastecimiento siempre va estar presente. Una de estas fuentes de energía es la del biogás, que se ha valorado en gran manera por países desarrollados durante las últimas dos décadas.

Por lo tanto el presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a base de biogás con el cual se busca establecer las condiciones adecuadas y cantidades necesarias para la producción e implementación del mismo. En pocas palabras se busca desarrollar un esquema de biodigestores, los cuales permiten la descomposición de materia orgánica en un ambiente anaeróbico (libre de oxígeno) mediante bacterias, generando un gas (biogás) que posteriormente es quemado por medio de motores de combustión interna, y de esta forma producir un movimiento de un eje, que se aprovecha convirtiendo su energía mecánica en eléctrica.

Al mismo tiempo, mediante la utilización de softwares especiales se espera simular las condiciones operativas de este sistema y demostrar la viabilidad del biogás como un combustible alternativo que beneficia al ecosistema y comunidades del cantón Quevedo.

1.2. Problematización

1.2.1. Planteamiento del problema

En nuestro país, la mayor parte de desechos sólidos se depositan en vertederos sin ningún tipo de cubierta, donde los desechos no reciben ningún tipo de tratamiento sanitario, creando una permanente amenaza para la salud de los habitantes.

Ante esto, el Gobierno está implementando sistemas de gestión de control de residuos a niveles mucho más significantes, donde se adoptan medidas internacionales de saneamiento, la cuales han sido probadas, sobre todo en países europeos, en las cuales se aprovechan recursos, tiempo y dinero.

Como contribución a este nuevo intento de aprovechamiento, en este proyecto se busca establecer condiciones adecuadas para el diseño de los sistemas de generación de energía eléctrica utilizando biogás.

1.2.2. Formulación del problema

- ¿En qué formas podría contribuir la implementación de este proyecto sobre el Cantón Quevedo?

1.2.3. Sistematización del problema

- ¿Cuán beneficioso sería llevar a cabo la aplicación de este tipo de proyectos?
- ¿Mediante el diseño y simulación se lograrán crear condiciones apropiadas de aprovechamiento energético, que permitan considerarlo como una propuesta de aplicación y ejecución en el Cantón Quevedo?

1.3. Justificación

En la actualidad se presentan dificultades ante el manejo de desechos orgánicos producidos ante las actividades diarias del ser humano, el tratamiento de este tipo de residuos influye en gran manera al ambiente, esta materia se caracteriza por tener la capacidad de descomponerse en un determinado periodo produciéndose desprendimiento de gases hacia a la atmósfera.

Los digestores anaeróbicos se encargan de realizar la descomposición de materiales orgánicos generando menor cantidad de productos dañinos que pueden ser reutilizados en otras actividades. Los productos obtenidos son el gas metano y composta de muy buena calidad.

Por lo cual el presente proyecto está enfocado en los aspectos de control y disminución de desechos y residuos, así como fuente de aprovechamiento energética ante la demanda actual de combustibles fósiles como fuente indispensable para actividades industriales. El uso de este tipo de recursos resulta novedoso, de manera que este proyecto surge como iniciativa para contribuir al desarrollo de fuentes alternativas de energía mediante el uso de biodigestores.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar y simular un sistema para la generación de energía eléctrica mediante la utilización de biogás en el cantón Quevedo, Año 2014.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros y condiciones adecuadas para el diseño del sistema de generación de energía eléctrica mediante la utilización de biogás en el cantón Quevedo.
- Simular mediante software SOLIDWORKS el sistema de generación de energía eléctrica bajo condiciones operativas.
- Demostrar la viabilidad del uso del biogás como combustible para el sistema de generación de energía eléctrica en el cantón Quevedo.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- El diseño y simulación de un sistema para la generación de energía eléctrica mediante la utilización de biogás en el cantón Quevedo será factible.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros de diseño del sistema de generación eléctrica utilizando biogás son inadecuados ante las condiciones establecidas para el cantón Quevedo.
- La simulación del funcionamiento del sistema de generación eléctrica utilizando biogás, por medio de software SOLIDWORKS establecerá que las condiciones técnicas y operativas son inapropiadas.
- La producción de energía eléctrica por medio de biogás no es factible como aporte energético sustentable para la ciudad de Quevedo.

CAPÍTULO II.
MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Aprovechamiento de la biomasa

El elevado costo de generación de energía eléctrica mediante el uso combustibles tradicionales derivados de materiales fósiles, los costos graduales del abastecimiento petrolero, la contaminación ambiental, sumado al costo involucrado en su obtención y su carácter limitado, cuya extinción está prevista para este siglo, generan la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, para la generación de energía eléctrica y de calor. **Canepa (2011).**

La mayoría de recursos energéticos renovables, cuentan con una fuente de energía explotada durante el déficit económico y energético producido durante y después de la segunda guerra mundial. Este es el biogás que se produce por medio de la degradación anaeróbica de la biomasa. **Pérez (2005).**

Si el estiércol originado en instalaciones agropecuarias se vierte sin ningún control al medio ambiente, este se degradara anaerómicamente y producirá biogás que se desatara sin control sobre la atmósfera. El biogás es una mezcla de gases como dióxido de carbón, azufre, metano y pequeñas cantidades de materia orgánica sin propiedades metanogénicas, alrededor de un 60 hasta 65%, los cuales son denominados como gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen al derretimiento de los polos. **Guerrero (2012).**

El metano es considerado como un gas que contribuye enormemente al derretimiento de los polos. Como tal, el gas metano posee mayor potencia que el dióxido de carbono con una capacidad de calentamiento 21 veces mayor a este. En lo que, la recepción, combustión y obtención final del metano a dióxido de carbono se puede aprovechar como combustible para generadores, calentadores u otros equipos que causen una reducción significativa de las emisiones de gases.

Una emisión de gases con efecto invernadero sin control hacia la atmósfera como subsecuencia de las actividades agropecuarias y la devastadora dependencia de los derivados del petróleo para la obtención de energía, afectan la capacidad técnica, ambiental, social, económica de los movimientos productivos en el sector industrial.

Una de las maneras de contrarrestar el calentamiento global y transformar estos residuos contaminantes en un recurso valioso, es su aprovechamiento controlado mediante biodigestores para la producción y captación de biogás, su aprovechamiento energético y la producción de fertilizante orgánico. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de suma importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo las explotaciones agropecuarias y agroindustriales en una actividad económica mucho más rentable y menos contaminante.

Los biodigestores y plantas de biogás son considerados como tecnologías ecológicamente amigables, descontaminantes y apropiadas para nuestra época. Esta tecnología es ecológicamente favorable, ya que satisface las necesidades de energía, fertilizantes y favorecen el desarrollo social, ambiental y tecnológico. Además son adecuadas para una ejecución pública, son muy sencillos de fabricar, poseen un mantenimiento planificado, de esta manera es muy factible su desarrollo en lugares campestres. Una planta de biogás, es una instalación en donde se pueden aprovechar los desechos orgánicos en un proceso anaeróbico, cuya operación genera energía. **Decara, Sandoval, & Funes (2004).**

Una planta de procesadora de biogás debe poseer ciertos equipos tales como: un recipiente destinado a la homogenización de la materia orgánica, una o más bombas, un recipiente para la codigestión, uno o dos agitadores, un sistema de tuberías para poder captar el biogás, un tanque de almacenamiento del biogás, un recipiente para descarga de residuos, sistema de tuberías para transporte de materia, válvulas y sensores, un lecho para el secado de los lodos, filtro para eliminación de H₂S, quemadores, implementos para la combustión y moto

generadores para generación de energía eléctrica o aprovechamiento del calor. **Alcívar (2007).**

2.1.2. Reseña histórica del biogás

La descomposición por medios anaeróbicos ha sido empleada por mucho tiempo por los países Europeos. Los primeros indicios de su aplicación fueron notificados por el científico Alessandro Volta en el año de 1776. El cual reveló que la capacidad de los gases naturales en lugares pantanosos, estanques y aguas residuales era una fuente de energía altamente provechosa y expreso que el desarrollo del biogás proveniente de este tipo de materias se acumulaba en el fondo.

Una planta fue diseñada para la digestión anaeróbica pionera en ese tiempo, fue edificada cerca de una comunidad de leprosos, en la ciudad de Bombay en el año de 1859. A partir de ahí se han edificado miles de biodigestores en toda la India. Además que se han fabricado cientos de biodigestores en Corea, China, Kenia, Tailandia, Taiwán y Sudáfrica. Se han calculado un aproximado de 6 millones de biodigestores construidos en estos países. Estos biodigestores tuvieron una gran influencia y demanda a mediados de 1895 en Inglaterra, precisamente por la tasa de biogás que podría ser aprovechable y reutilizado como fuente de energía para las bombillas en la ciudad de Londres. **Universidad Autónoma de México (2012).**

En 1868 Bechamp estableció las condiciones como fuentes principales para las técnicas microbianas. En 1821 la fórmula del metano fue desarrollada por Avogadro. Además las investigaciones demuestran que los científicos como Davy Dalton y Henry, concurren con la realización y experimentación en el año 1804 hasta 1810 para la constitución química para el metano.

En 1884 Pasteur efectuó experimentos de biogás, a partir de estiércol animal. Gayón, un formidable discípulo de él, fermentando al menos 1 m³ de residuos vacunos a temperaturas de 36 °C consiguió adquirir al menos unos 110 litros de

biogás. Mediante esta experimentación se obtenían grandes resultados, y que probablemente causaba un entusiasmo a ellos por su aplicación energética. Se lanzó un proyecto piloto por parte de Pasteur ante aquellos buenos resultados, tenía el fin de proporcionar energía calorífica a estufas y eléctrica para la red doméstica. **Bosch (2011).**

Las impresiones fueran tan grandes ante sus expectativas de estos resultados favorables, que inclusive, se tuvo la idea en aprovechar los residuos de centenares de que en ese tiempo eran utilizados como medio de transporte para las carretas de la ciudad de Paris. En el año 1890 Donald Cameron diseñó una gran fosa séptica para la ciudad de Exeter, en Gran Bretaña. Con el gas obtenido alimentó la red de alumbrado público. Durante la Segunda Guerra Mundial, muchos granjeros de Inglaterra, Francia, e incluso Alemania, fabricaron biodigestores para generar biogás para su utilización en maquinaria agrícola y generar energía eléctrica. Estas infraestructuras pararon su operación a finales de 1950 cuando comenzó la lucha por el petróleo. **Bosch (2011).**

Mientras en Alemania en el año de 1906 se efectuó la edificación pionera de una planta de tratamiento para biogás; en 1913 se edificó unos de los primeros biodigestores con sistemas integrados de autocalfacción y en 1920 se edificó una central procesadora de aguas residuales anaerobias utilizadas para a la obtención de biogás para el suministro de gas natural a la comunidad. **Bosch (2011).**

Además el beneficio por el uso de fuentes renovables de energía ha sido tal que países como Alemania, han optado por ser líderes en su utilización. En 1920, Imhoff implemento el primer biodigestor utilizado en Alemania. Este constaba de un reservorio hermetizado, de manera que era alimentado con material biodegradable para la obtención del biogás. Actualmente Alemania ha tomado parte como líderes en el desarrollo e implementación de centrales industriales de biogás. En el año 2012 existían en Alemania aproximadamente unos 7500 biodigestores. **Tapia (2010).**

Habitualmente en la colectividad latinoamericana, el aprovechamiento del biogás ha repercutido muy poco en sectores calefacción de alimentos y establecimientos de cuidados de animales. Por lo tanto, la utilización del biogás como una posible sustitución de fuentes energéticas perjudiciales con el medioambiente para la obtención de energía eléctrica a través de motores de combustión interna ha desarrollado un gran interés durante esta década. **Quesada (2007).**

En este entonces, el costo del barril petrolero estaba alrededor de los \$100, conociendo que este precio es variable en el tiempo, esto conllevó a que países desarrollados y en subdesarrollo consideraran un enfoque pertinente a las fuentes energéticas amigables con el medioambiente que reemplacen los acostumbrados combustibles productos del petróleo. Alrededor de estos 6 años se han establecido proyectos para la edificación de múltiples centrales de producción de biogás en países como: Brasil, Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Honduras, México, República Dominicana, Venezuela, etc.

En la transformación del biogás existen muchos recursos que pueden ser reutilizados debido a la gran conjunto de materia orgánica aprovechable, por ejemplo, desechos animales, residuos agroindustriales y vegetales, residuos sólidos urbanos, plantas herbáceas, subproductos lácteos, descarga de líquidos provenientes de industrias alimenticias, refrescos, pulpas, residuos de mataderos y procesadores de carne, viñedos con fines de obtención de alcohol, etc.

Los biodigestores son por mucho los más adecuados ante la aplicación de entornos energéticos para recursos económicos de países desarrollados y subdesarrollados. El conjunto de técnicas tecnológicas del biogás son implementadas en función de las disposiciones ambientales y económicas del mañana. Esta posee un avance tecnológico muy amplio, además del interés energético y beneficios por sobre otro tipo de energías. **Ramon Arrue (2007).**

2.1.2.1. Los biodigestores en la actualidad

Elementos como: el gigantesco precio del petróleo y sus derivados, la acelerada contaminación del ambiente efectuada por la exposición a veces descontrolada de gases de efecto invernadero, incluyendo una visión futura de la escasez energética posiblemente de aquí en 40 años, ha contribuido un a una reconsideración de la implementación, fabricación de biodigestores y centrales de aprovechamiento del biogás mediante los residuos de materia orgánica y la producción energética. **Ocampo (2010).**

En casi la mayoría de países del frente europeo se benefician principalmente de los residuos sólidos urbanos y fuentes relacionadas a esta energía. En los cuales han sido fabricados al menos durante las últimas 2 décadas aproximadamente unos 10000 biodigestores para el sector de industrias. En el año 2006, la obtención de biogás en los países europeos consiguió un poco menos de 6 millones de toneladas equivalentes de petróleo.

Mientras en el 2007 se situó en Jameln una gasolinera prototipo abastecedora de biogás como combustible. Esa vez, los dueños de los vehículos de gas natural fueron capaces de obtener biogás como combustible por medio de recursos renovables y alcanzar un recorrido con un costo de 15 dólares americanos alrededor de 250 km, más o menos, cerca del doble en comparación a la combustible tradicional. **Junta de Extremadura (2010).**

En el país de Alemania, es prácticamente inexistente cualquier edificación agropecuaria en la cual no haya un aprovechamiento de residuos sólidos y orgánicos para la obtención de biogás y la generación eléctrica. En este país se ha establecido un marco legal en donde el estado alemán incentiva la construcción de plantas de biogás a través de bonos y deducciones de impuestos. Hasta el año 2012 cuenta con más de 7.500 plantas de biogás. **Díaz & Domínguez (2013).**

Latinoamérica también ha desarrollado proyectos industriales de aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás. Por ejemplo, en Nicaragua la Licorera de Nicaragua, fabricante de Ron Flor de Caña, fue construida en el año 2005, una planta de biogás destinada al aprovechamiento de las vinazas mediante la producción de biogás con una producción de 2.5 MW de energía. **Sosa & Laines (2010).**

En Venezuela en el matadero Carnes El Pazo se inició hace 3 años la construcción de un biodigestor de 15.000 m³ para aprovechar las aguas residuales que se producen en el matadero.

En el resto del globo múltiples países han optado por acoger la idea del biogás. Asia es el continente donde se han realizado la mayor cantidad de instalaciones. En China, el 70% del combustible para uso doméstico en las zonas rurales proviene de la descomposición de la paja y los tallos de cultivos.

En la India, un poco más de medio millón de personas han utilizado plantas de biogás como aprovechamiento de combustible doméstico, y actualmente existen plantas domésticas donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda por un precio módico. Estados Unidos, de igual manera posee ciertas cantidades de plantas de biogás instaladas. En Europa, se han hecho más de 10.000 instalaciones de plantas de biogás. **Colin, Enriquez, & Lima (2009).**

2.1.2.2. Ventajas en el uso de biodigestores

La función de la biomasa como fuente de energía muestra innumerables cualidades, no exclusivamente para los encargados de la edificación y adecuación para la obtención de biogás, esto incluye a los habitantes de comunidades y ciudades. De manera fortuita para los encargados, los beneficios poseen un carácter económico, esto es debido a que disminuyen los gastos de energía por el decrecer de la cuantía de fuentes tradicionales o de energía eléctrica que es necesaria tener. **Nogués & Herrero (2002).**

Mientras que para los habitantes, la utilización de esta materia orgánica manifiesta, de manera semejante que influyen en otros tipos de energías alternativas, multitudinarias beneficios socioeconómicas y medioambientales.

Los excrementos de los animales, desechos, basuras y residuos orgánicos se convierten en más contaminantes para el medio ambiente y muchas de las técnicas modernas no logran solucionar con bajas inversiones este problema. Los biodigestores se encargan de eliminar cualquier tipo de contaminación y convierten estos residuos en subproductos utilizables como por ejemplo el biogás y el bioabono. **Corral (2006).**

Los digestores cumplen la función ecológica al encargarse de reutilizar a su totalidad los residuos de materia orgánica a precios muy despreciable, permitiendo una cubierta protectora para el suelo al agua. Finalmente, la función tecnológica del proceso digestivo anaeróbico es para lograr que la biomasa en porcentajes pequeños contenga la humedad apropiada, incluyendo la anulación casi total de su capacidad de contaminación, eliminar cualquier origen de malos olores y gérmenes, microbios patógenos producto del vertimiento.

El producto resultante son los lodos derivados del proceso digestivo del digestor, estos alcanzan a utilizarse como fertilizadores en sector agrícola. **Moncayo (2005).**

2.1.2.3. Beneficios del uso de energía

- Producción total del aprovechamiento energético
- Obtención de un combustible puro, amigable con el medio ambiente y de gran superioridad.

2.1.2.4. Beneficios medio ambientales

- Ejecutada bajo circunstancias apropiadas, la incineración del biogás origina fuentes de agua y dióxido de carbono controlado.

- La cuantía generada del dióxido de carbono, es almacenada y tratada, produciendo emisiones mínimas a escala controlada.
- No produce emisiones sulfuradas o nitrogenadas, ni partículas sólidas.
- Evitar la dependencia de los hidrocarburos y enfocarse hacia las nuevas energías renovables y cada vez más ecológicas.

2.1.2.4. Beneficios de carácter financiero

- Producción energética de electricidad y aprovechamiento calorífico
- Obtención de derivados como el bioabono de grado superior.
- Los beneficios económicos a pequeña escala mediante el reemplazo de fuentes energéticas y uso de fertilizantes, además por el incremento de ganancias y del aumento de la producción agrícola-ganadera cuando se emplea a nivel agropecuario.
- Beneficios económicos a gran escala por medio de la generación de energía disponible para su distribución, disminuyendo el coste de importación y de cobertura al medioambiente.
- Alto rendimiento en el área de ingresos por sobre otras alternativas de procesamiento según un punto de visto de duración y obtención de utilidades.
- La cantidad de energía aprovechable proveniente de la materia orgánica favorece al cambio de transformación de energía, de estas alternativas buscadas mediante la planificación estratégica, de manera interna así como externa.

2.1.2.5. Beneficios económicos en la sociedad

- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles
- Favorece el desarrollo del área rural y supone una oportunidad para el sector agrícola,
- Abre oportunidades de negocio a la agroindustria.

- Beneficia al desarrollo investigativo y el desarrollo tecnológico, aumentando la capacidad productiva de los bienes.
 - Controla de manera sustentable la contaminación ambiental.
 - Disminuye considerablemente las manifestaciones de CO₂ y CH₄.
 - Obtención de productos como son los bioabonos y biofertilizantes con un gran contenido proteínico.
 - Aprovechamiento total de los desechos en materia de reutilización.
 - La explotación de la mayoría de clases de residuos orgánicos favorecen a la sociedad con la acogida de lugares de trabajo en la comunidad.
- Cmapsver (2002).**

2.1.2.6. Digestión anaeróbica

Los biodigestores son recipientes equipados con un cierre hermético. Que de manera particular puede ser establecido como un equipo que es capaz de retener una cantidad de biomasa y reubicarla en depósitos para obtener productos derivados como bioabono y biol, además estos cuentan con un procedimiento de captación y transporte de biogás para su transformación y aporte de energía eléctrica. **León (2005)**

La biomasa, que también puede ser denominada como “sustrato” es aquella composición de tipo orgánico que se obtiene de residuos de animales (estiércol), árboles, plantas, todos los desechos orgánicos que pueden ser convertidos en energía; o los provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, papas, banano), de aserraderos (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas residuales, basura orgánica y otros). **Universidad César Vallejo (2009)**

El biogás se obtiene por medio del proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica. Donde la digestión de tipo anaerobio se debe a circunstancias propias de los microbios, que acontece de manera automática para la materia residual por la falta de oxígeno. Se obtiene una composición variada de gases tales como el CH₄ y el CO₂, esta es denominada biogás y un medio húmedo el

cual posee elementos incapaces de degradarse de alguna forma consistente, además de sedimentos no orgánicos originalmente contenidos solo para la biomasa. **Bosch Martí (2011)**

2.1.2.8. Descripción del proceso

El procedimiento dentro del biodigestor puede relacionarse con la manera que funciona el aparato digestor de los animales. Por esta razón las bacterias al interior del digestor reaccionan negativamente cuando se cometen errores con la alimentación de biomasa. El proceso de la digestión anaerobia puede llegar a ser muy complicado si se analiza desde una perspectiva microscópica. **Soria, Ferrera, Etchevers, & Alcántar (2001).**

Al estar enmarcado en el ciclo anaeróbico del carbono, es posible, transformar la biomasa en ausencia de oxígeno en compuestos volátiles como el CO₂, NH₃, H₂S, N₂, CH₄ y otros gases menores. Este proceso ocurre también con el denominado "gas de pantanos" que surge de aguas residuales o pantanosas, el gas metano, en los yacimientos petrolíferos, y alegóricamente así como en el gas generado en el interior de los bovinos. En la mayoría de estos procesos actúan las bacterias metanogénicas. **Franco (2005)**

La capacidad digestiva anaerobia se efectúa de manera natural, de modo que se agrupan características del carbono, así habría capacidad de generar una operación controlada, compuesta de una variedad de grupos bacterianos en un medio libre de aire, lo cuales usan la biomasa con el fin sustentarse alimenticiamente y proceder a multiplicarse. **Huchin (2012).**

Mientras que se incrementa la cantidad de biomasa alrededor de un ambiente húmedo los microbios aeróbicos se comportan de manera que buscan poder alimentarse de esta mezcla. El procedimiento necesita de aire diluido presente en este medio. Después de esto, el aire comienza a consumirse totalmente, se crean las condiciones adecuadas de manera que el grupo anaeróbico logre crecer mediante el consumo de la biomasa utilizable. Como respuesta al

mecanismo de respiración de los microorganismos, se origina en gran manera una cantidad de gases. Puede que la degradación anaeróbica sea un procedimiento grandemente divulgado, pero existe un vacío informativo y restringido en cuanto al uso de medios químicos que pueden provocar a su composición microbiana. No obstante, es posible reconocer ciertos lineamientos en cuanto a la capacidad de degradación anaeróbica en el trayecto de operación, en el cual la materia orgánica se desagrupa en cientos de partículas diminutas con el fin de generar biogás y bioabono, todo esto mediante la aplicación de diversos microbios. **Bosch Martí (2011)**

2.1.3. Fases para la fermentación anaerobia

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de tres fases diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo diversas poblaciones de bacterias. Pueden asemejarse al menos 5 grupos bacteriológicos, entre los cuales se encuentran 3 principales: acetogénesis, metanogénesis e hidrólisis. **Campos, Elias, & Floats (2012)**

2.1.3.1. Hidrolisis

Las mezclas de materia orgánica diferidas, como lípidos, así como proteínas son descompuestos, por medio de la acción de enzimas con el fin de convertirlas en partículas degradadas y disueltas, de manera como ocurre con el azúcar, partículas ácidas. Se trata de un proceso enzimático extracelular, y las bacterias responsables de su generación son las bacterias hidrolítico-acidogénicas. **Campos, Elias, & Floats (2012)**

2.1.3.2. Acidogénesis

Los compuestos solubles obtenidos de la etapa anterior se transforman en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles); esto es, ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico, principalmente. Las bacterias acidogénicas

comúnmente se encuentran en recipientes en ejemplares como: Bacteroides, Bifidobacterium Butyrivibrio, Clostridium Enterobacterias, Lactobacillus Propionibacterium, Ruminococos, Streptococos. **Campos, Elias, & Floats (2012)**

2.1.3.3. Acetogénesis

Los compuestos intermedios son transformados por las bacterias acetogénicas. Como principales productos se obtiene ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. El metabolismo acetogénico es muy dependiente de las concentraciones de estos productos, tal como se comprueba más adelante para el ácido butírico. Como ejemplos de bacterias acetogénicas, cabe mencionar Syntrophobacter wolinii, que descompone el ácido propiónico, o Syntrophomonas wolfei, que descompone el butírico.

Los ácidos valérico y butílico son descompuestos por las mismas especies. En el grupo de bacterias acetogénicas se incluyen las homoacetogénicas, las cuales pueden generar ácido acético por medio de H_2 y CO_2 , perteneciente a los géneros Acetobacterium, Acetoanaerobium, Acetogenium, Clostridium o Eubacterium. **Campos, Elias, & Floats (2012)**

2.1.3.4. Metanogénesis

Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono son transformados a CH_4 y CO_2 . Se distinguen dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético (bacterias metanogénicas acetoclásticas) y los que consumen hidrógeno (metanogénicas hidrogenófilas). La principal vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general.

A pesar de ser esta la vía más importante, solo microorganismos de los géneros Methanosarcina y Methanotherix son capaces de producir metano a partir de acético. Otros géneros a los que pertenecen microorganismos metanogénicos,

en este caso hidrogenófilos, son Methanobacterium, Methanococos, Methanobrevibacter o Methanogenium, entre otros. **Campos, Elias, & Floats (2012)**

2.1.3.5. Principales factores que influyen la producción de biogás

El trabajo de la metabolización consiste en que la obtención del biogás se vea afectado por diversas circunstancias. Ya que a cada grupo de microorganismos que se relacionan en cada ciclo del procedimiento actúa de manera contraria a la cantidad de hechos que pueden darse cualidades fijas en la manera que actúa sobre la obtención de biogás apropiadamente. **Textos Científicos.com (2005).**

Los puntos más notables sobre los que actúan la obtención de biogás se presentan estos.

- Ausencia de oxígeno
- Tipo de biomasa (nutrientes disponibles)
- Masa seca
- Masa volátil
- Carga orgánica volumétrica
- Carga hidráulica volumétrica
- Nutrientes
- Relación carbono/nitrógeno
- Grado de mezclado de la biomasa
- Temperatura del proceso
- Tiempo de retención hidráulica
- Nivel de acidez (pH)
- Agregado de inoculantes
- Presencia de compuestos inhibidores del proceso.

2.1.3.6. Ausencia De Oxígeno

Las bacterias metano genéticas son los seres vivos más antiguos que existieron sobre nuestro planeta. Estas bacterias metano genéticas viven solo bajo condiciones libres de oxígeno. El motivo por el que los microbios siguen vivos o se cohiben instantáneamente frente al aire es debido a que estas coexisten junto a otros organismos que se desarrollaron previamente. **Ocampo (2010)**.

Sin embargo, el efecto inhibitor del oxígeno no es permanente ya que en la flora bacteriana existen también microorganismos facultativos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio acuoso. **Ocampo (2010)**.

Estos organismos potestativos pueden subsistir en un medio con o sin que abunde él. Debido a esto un procedimiento anaerobio solo puede suceder bajo circunstancias ejemplares para la adaptación de un sistema completamente ausente de aire dentro del biodigestor. **Bosch Martí (2011)**.

Mientras el contenido de oxígeno en el digestor sea menor que el 3-5 % puede desarrollarse el proceso anaeróbico sin consecuencias negativas.

2.1.4. Características de la Biomasa

La producción de biogás es influenciada por el tipo de biomasa con la que se alimenta al digestor. Hay determinados tipos de biomasa como la gallinaza, pastos, maíz, etc. que producen más biogás que otros, como el estiércol de cerdo o ganado. **Ocampo (2010)**.

La producción de biogás depende de la cantidad de grasas, proteínas, hidratos de carbono y nutrientes que contenga esta biomasa. **Cordova (2013)**.

El procedimiento anaerobio innecesariamente incluye maneras de aprovechar el carbono y nitrógeno, de los cual conjuntamente no debe perderse la estabilidad de ciertas sales minerales. **Textos Cientificos.com (2005)**.

La selección del tipo de biomasa influye en la producción de biogás. Habitualmente la materia orgánica con un elevado porcentaje de proteínas y grasas o hidratos de carbono es capaz de producir una mayor cantidad de biogás. Debido a esta característica es entendible que se quiera alimentar al digestor únicamente con este tipo de biomasa. Pero los digestores necesitan un amplio espectro de nutrientes. Por lo tanto hay que tener en cuenta que lo más conveniente es la preparación equilibrada de una mezcla de biomasa para alimentar el digestor. **Ocampo (2010).**

Hay que buscar siempre un punto de equilibrio entre la selección de biomasa para la producción de una mayor cantidad de biogás y una biomasa de alto contenido de nutrientes esenciales para el crecimiento de las bacterias.

Habitualmente las mezclas de compuestos de origen orgánico tales como los residuos animales almacenan gran cantidad de propiedades en cantidades adecuadas. No obstante en la degradación de varios residuos industriales existe la posibilidad de necesitar la complementación de otros nutrientes esenciales **Ocampo (2010).**

En cuanto al tema de residuos de tipo animal la descomposición biológica de las clases de materia orgánica será controlada por parámetros tales la clase a la que pertenece el animal y la clase de alimentación que tiene. **Textos Científicos.com (2005).**

La calidad de la biomasa es un factor importante que tiene influencia directa en la producción de biogás. Por esta razón es importante que en algunos casos se aplique un pre tratamiento a la biomasa. Básicamente hay que tener en cuenta que la biomasa tenga una buena calidad. Por ejemplo no es recomendable que se alimente al digestor con biomasa podrida y fermentada. Esta biomasa puede inhibir el proceso anaeróbico y colapsar el proceso de digestión. Siempre hay que tener en cuenta que al interior del digestor ocurre un proceso con seres vivos (bacterias) que necesitan adecuadas condiciones para vivir. **Ocampo (2010).**

En países europeos se aplica la regla de que solo se alimenta al digestor con biomasa que pudiera todavía servir como alimento de animales. Tampoco debe cambiarse en forma frecuente el tipo de biomasa o de mezcla con la que se alimenta al digestor. **Ocampo (2010).**

Tampoco se podría alimentar al ganado con diferentes tipos de biomasa todos los días. El ganado se enfermaría y dejaría de comer. Este es el mismo caso en los digestores. Si se cambia repentinamente el tipo de biomasa es probable que las bacterias se mueran o que colapse el proceso anaeróbico. En casos que sea necesario un cambio en el tipo de biomasa, este debe realizarse paulatinamente y en un periodo de varios días para que las bacterias se vayan acostumbrando a la nueva biomasa. **Ocampo (2010).**

La biomasa debe ser preparada previa a la alimentación del digestor. Se debe retirar todo material inerte como palos, piedras, basuras, plásticos, etc. **(Ocampo, 2010).** Esta actividad es necesaria para evitar el taponamiento de tuberías, formación de espumas, sedimentos en el fondo del digestor, fallas de proceso o daños de bombas y elementos de agitación. Estas etapas de pre tratamiento requieren de maquinaria sofisticada y frecuentemente causa considerables costos operacionales. **Ocampo (2010).**

Particularmente la biomasa que viene directamente de las cosechas debe ser troceada o cortada para que se alimente al digestor. Mientras más cortada o trillada sea una biomasa mayor va a ser la probable producción de biogás, ya que la biomasa tendrá una mayor superficie de contacto para la acción de las bacterias metano genéticas. De otra manera puede suceder que la biomasa no se degrade y que cuando cumpla su tiempo de retención en el digestor sea extraída y no se haya degradado. **Ocampo (2010).**

También el pH de la biomasa tiene influencia en la producción de biogás. Hay que considerar que durante el proceso anaeróbico hay fluctuaciones pertenecientes al pH que logran resistir e igualar el digestor, siempre y cuando el pH se maneje dentro de ciertos rangos. Si se alimenta al digestor con biomasa

con un pH demasiado bajo, por ejemplo aguas de proceso o forrajes, puede ocurrir una inhibición del proceso. En este caso hay que regular el pH de la biomasa antes de su ingreso al digestor. También pueden formarse muchas espumas al interior del digestor si el pH de la biomasa que se carga es diferente del pH al interior del digestor. **Ocampo (2010).**

La codigestión ofrece muchas ventajas ecológicas, tecnológicas y económicas mejorando el balance de nutrientes. La codigestión de una variedad de sustratos reemplazando una clase de residuo mejora la relación C: N: de nutrientes del cual óptimamente debería ser de alrededor de 300:5. Este también mantiene una considerable variedad de minerales (K, Na, Mn, Mg, etc.) así como también una balanceada composición de trazas de metales.

La codigestión mejora el proceso de digestión e incrementa la generación de biogás (efecto cinético), este podría ser atribuido a la existencia de nutrientes y la disminución/disolución de sustancias inhibitorias debido a la mezcla de los residuos. **Alvarez, Rieta, & Villeda (2004).**

El suministro y transporte de biomasa juega un papel muy importante únicamente en el aprovechamiento de sustrato que no se produzca en la misma instalación o predio en donde se construye el digestor. Es importante que se implementen un sistema de preparación y adecuación de la biomasa, y se disponga de equipos para el control y el pesaje de biomasa. Se debe también controlar y protocolar la calidad y cantidad la biomasa que se alimenta al digestor. **Ocampo (2010).**

2.1.4.1. Almacenamiento

Los silos de almacenamiento sirven para equilibrar variaciones en la demanda y producción de biomasa. La forma y tamaño de los silos depende del tipo de biomasa y del flujo de aprovechamiento. En épocas de cosecha y bajo aprovechamiento de biomasa se debe prever suficiente volumen de almacenamiento. Si se aprovechan desechos agroindustriales con desechos

agropecuarios, se debe separar el almacenamiento de la biomasa. No se debe mezclar con la biomasa que debe ser previamente higienizada antes de su aprovechamiento en digestores. En caso de silos cerrados hay que tomar precauciones para que no se acumulen malos olores o haya degradación de materia orgánica debido a ausencia de oxígeno. **Ocampo (2010).**

A la salida de los silos se debe prever unidades de pesaje de la biomasa y control de las unidades de transporte de biomasa a los digestores.

2.1.4.2. Preparación de la biomasa

Cada tipo de biomasa requiere de tratamiento diferentes, dependiendo de la consistencia de dicha materia prima. Ejemplos de pretratamiento incluyen:

- Separación de sólidos inertes y materiales extraños, como pedazos de ladrillo, arena, grava, tierra, plásticos, troncos, etc.
- Acondicionar los residuos vegetales tales como pasto, paja, hojas, tamo, mediante un proceso de corte o picado fino, molienda, maceración, etc. Los equipos para esta actividad pueden ser costosos.
- Mezcla y homogenización de residuos y precalentamiento.
- Reducir el tamaño de las partículas para aumentar la superficie para los microorganismos y hacer más eficiente el proceso de digestión.

La magnitud y tipo de preparación de la biomasa tiene una gran influencia en la eficiencia del proceso al interior del digestor. A mayor y mejor preparación de la biomasa, mejor eficiencia y mayor producción de biogás. La preparación de la biomasa tiene como meta mejorar y perfeccionar la manera de degradación de materia orgánica. **Ocampo (2010).**

2.1.4.3. Clasificación, eliminación de materia extraña

La magnitud y alcance de este proceso depende del tipo de biomasa y su procedencia. La biomasa se debe clasificar en un tanque de pretratamiento o en

el mismo tanque de mezcla. En caso de que la biomasa contenga mucho material extraño (piedras, palos, plásticos, etc.) se debe prever una rejilla antes de la tubería de alimentación para la retención de sólidos y basuras. **Ocampo (2010).**

2.1.4.4. Higienización

En caso que se aprovechen desechos de restaurantes, de mercados o restos de animales, y de acuerdo a las regulaciones y normas en cada país, es necesario que se someta a un proceso de limpieza e higienización de la materia orgánica. Por medio de esta se logran excluir microorganismos y bacterias.

Lo que involucra una reducción en cuanto a las posibilidades de que exista un agente contaminante y pueda transmitir algún tipo de patología. La higienización se efectúa mediante el calentamiento de materia orgánica hasta una temperatura de unos 70°C por lo menos por 60 minutos. El proceso de higienización se lo efectúa en tanques de acero y hormigón. **Ocampo (2010).**

Después de la higienización y antecedente a proceder con el ingreso de la materia orgánica en el interior del biodigestor, se debe disminuir o equilibrar el grado de temperatura que esta biomasa posea en comparación del procedimiento. **Bosch Martí (2011).**

2.1.4.5. Troceado, trillado de la biomasa

No se debe ingresar al digestor pedazos grandes de biomasa, como repollos enteros, coliflores, frutas enteras, verduras enteras como aguacates, etc. La biomasa debe ser despedazada, troceada, desmenuzada para que se degrade más eficiente y rápidamente en el digestor. Mientras más pequeñas sean las partículas de biomasa, más superficie de contacto tienen para que las bacterias se puedan alimentar y producir biogás. Se logra una velocidad mayor de la forma de degradación de materia orgánica, alimentando al digestor con materia bien desmenuzada o troceada. **Ocampo (2010).**

La producción de metano puede también depender del tiempo de retención y del grado de troceado de la materia orgánica. La biomasa se trocea o desmenuza por medio de mezcladores, aspas, molinos, etc. **Ocampo (2010)**.

2.1.4.6. Mezcla y homogenización

Es necesaria la mezcla y homogenización de la biomasa con agua, para alcanzar el grado de dilución requerido. **Gutiérrez (2014)**. La biomasa debe mezclarse con suficiente agua para alcanzar el grado de dilución. El grado de dilución debe ser del 10-15%. Este valor corresponde el contenido de masa seca. Un porcentaje de dilución del 10 % significa que la mezcla tendrá un 10 % de masa seca y un 90 % de humedad (agua). Los contenidos de masa seca mayores al 15 % inhiben el proceso de degradación en el digestor. **Ocampo (2010)**.

Para homogenizar la biomasa se puede utilizar agua, biol“(reciclado del efluente) o aguas de procesos. El biol es el efluente del digestor, se lo puede recircular desde el tanque de descarga al tanque de homogenización. La inoculación de la biomasa con biol favorece el proceso de digestión, ya que la biomasa se inocula con bacterias digeridas o fermentadas.

Si se utiliza agua de algún proceso para la homogenización hay que tener en cuenta que no contenga trazas de desinfectantes o elementos químicos que inhiban la producción de biogás. **Ocampo (2010)**. La homogenización se la realiza en tanques por medio de mezcladores o agitadores.

2.1.4.7. Alimentación del digestor

Idealmente se debe alimentar el digestor en forma continua. En la práctica pocas veces es posible por lo que se habla de una alimentación casi continua. La alimentación debe hacerse durante todo el día, en lo posible cada hora. Este proceso puede automatizarse. No es recomendable que se mezcle u homogenice la biomasa en los tanques de alimentación si esta no se alimenta inmediatamente al digestor. Preferentemente solo se debe homogenizar la

biomasa con la que se va a alimentar en ese momento al digestor. **Ocampo (2010)**.

2.1.5. Masa seca

Se la denomina como la cuantía de materia sólida proveniente de fuentes de la biomasa. El parámetro se lo establece como la cantidad del contenido total seco que ingresa recurrentemente, generalmente por días al digestor. **Bosch Martí (2011)**.

La proporción adecuadas para que la mezcla pueda alcanzar una degradación excelente se encuentra entre los rangos del 10 al 15%. Solo es posible esto utilizando la disolución de la mezcla de materia orgánica con agua o mediante la circulación del subproducto biodiesel. En digestores operados con estiércol de ganado los valores óptimos de operación oscilan entre 10 y 12%. La disolución es indispensable por lo que permite generar un área de acercamiento de las bacterias unas con otras con el sustrato (mezcla de diversas fuentes de materia orgánica).

Una cantidad mezclada de materia orgánica con un contenido porcentual de masa seca superior al 15% es difíciles de bombear por las tuberías de alimentación al digestor. **Ocampo (2010)**. Estas presentan un grado de agitación muy complicado de alcanzar en el interior del biodigestor, por lo que se necesitan una gran variedad de potencial energético para el proceso de agitación. **Bosch Martí (2011)**.

2.1.5.1. Masa volátil

La masa volátil o solidos volátiles es el volumen de masa orgánica que contiene la biomasa. **Bosch Martí (2011)**. La masa volátil (MV) es el componente que se volatiliza después de la incineración de la masa seca durante 6 horas a 550 grados. En la mayoría de textos se la conoce como oTS. Las cenizas que quedan

después del secado corresponden al componente inorgánico de la masa seca. **Oñate (2013).**

La comprensión del uso de la masa seca es vital por lo que esta es la única capaz de comprender el porcentaje real de la masa orgánica en la materia degradable. **Oñate (2013).** Solo este contenido de masa volátil es posible obtener el biogás mediante el proceso de codigestión en el interior de biodigestor. El contenido de humedad (agua) no produce biogás, pero facilita el proceso de digestión. **Ocampo (2010).**

2.1.5.2. Carga orgánica volumétrica

La carga orgánica volumétrica se puede definir como la cuantía de biomasa de carácter volátil que normalmente ingresa en el digestor diariamente por m^3 con respecto al volumen del biodigestor. Se define en unidades de kg para masa volátil en relación del m^3 para la capacidad del biodigestor ($kg \text{ (masa volumétrica)} / m^3$). El parámetro se establecerá en función de la temperatura del procedimiento dentro del biodigestor, además de la capacidad temporal para la retención hidráulica. **Bosch Martí (2011).**

Se establece como un valor que nos permite examinar la capacidad del digestor, además es un parámetro concluyente para conseguir el dimensionamiento del digestor. Si el sustrato está muy diluido, los organismos no poseen un medio donde puedan alimentarse; por lo que una gran cantidad de partículas sólidas reducen la capacidad de movimiento de las bacterias, lo que involucra y compromete la eficiencia del procedimiento, de manera que no permite el acceso de materia para su sustento. **AquaLimpia (2008).**

A menor temperatura y mayor tasa de retención hidráulica, superior sería la carga orgánica volumétrica. Lo que involucraría que la masa orgánica sea ingresada en el interior del biodigestor. **Ocampo (2010).** La carga orgánica volumétrica puede aumentarse hasta un valor máximo determinado. A mayor carga orgánica volumétrica superior sería la probabilidad de impedir que el procedimiento siga,

su capacidad sería abrumadora al alimentar de materia orgánica a los organismos.

Para esta situación el procedimiento se vuelve en gran escala incontrolable, lo que involucra que debe ser examinado y estudiado de una manera más profunda. Habitualmente esta carga orgánica volumétrica debe alcanzar valores entre 2-3 kg (masa volátil) /m³ de digestor por día. **Ocampo (2010).**

Si se mantienen valores constantes para el volumen del digestor (m³) e incrementa la carga orgánica volumétrica, reduce la tasa de retención hidráulica. Particularmente las bacterias durante un menor tiempo se degrada la materia orgánica y para producir biogás. En cargas orgánicas volumétricas mayores de 3 kg/m³ existe la posibilidad de que la materia orgánica se descargue del digestor a través del efluente, sin que se haya degradado. **Ocampo (2010).**

En algunas ocasiones es necesario determinar la cantidad de sustrato para realizar la mezcla de dos tipos de biomasa sin que se supere un valor determinado de concentración de sólidos. A valores mayores a 3 kg /m³ se debe controlar constantemente el proceso y observar si no hay una disminución de la producción de biogás. A valores de carga orgánica volátil entre 4-5 kg (masa volátil) /m³ se observa una disminución del proceso de degradación de las bacterias y la consecuente disminución de biogás. Esta carga se encuentra en valores de 1-2 kg (masa volátil)/m³, las cuales no dan absolutamente ningún problema. **Ocampo (2010).**

2.1.5.3. Temperatura del proceso

El rango de temperatura para la digestión anaeróbica tiene tres rangos. Este nivel de psicofilia se encuentra alrededor de 25°, mientras el nivel de mesofilia aproximadamente a medias de 25 y 45°C y el nivel de termofílica cercano de 45 a 60°C. **Bosch Martí (2011).**

Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas mesófilas y la digestión óptima se obtiene a unos 35°C. La rapidez con que existe una degradación ocurre solo a temperaturas mayores a los 45°C, la cual es superior ante temperaturas muy inferiores, No obstante, los organismos son extremadamente sensitivos a variaciones atmosféricas, sobre todo ante un mínimo cambio en unos ínfimos grados de temperatura. **Baten (2011).**

La rapidez para la degradación de la materia orgánica incrementa conforme a la temperatura, además deberían incrementarse las imposiciones de energía. Bayona (2010).

Esta circunstancia puede ocasionar la disminución de la estabilidad del proceso, al menos en presencia de determinadas sustancias tóxicas. En la obtención y aprovechamiento de biogás, debe proveerse un ambiente libre de agentes externos, aumentando con la temperatura, esto sucede como consecuencia del aumento del valor porcentual del desarrollo de las bacterias.

Para aquellas temperaturas extremadamente inferiores se necesitan alargar la capacidad temporal de retención y causa de esto se emplean capacidades volumétricas superiores en el biodigestor. El valor porcentual de la hidrólisis debe incrementar conforme la temperatura, la cualidad de la termofílica puede sacársele un gran beneficio en el empleo de desechos en los que, el proceso hidrolítico esté afrontando una ciclo limitado, los desechos tienen un valor porcentual de partículas lignocelulíticas. **Campos A. (2011).**

La capacidad de la termofílica se concentra exclusivamente en la cuantía de situación de equilibrio. No obstante otras entidades y empresas enfatizan que la mayoría de centrales de termofílica se manifiestan robustas y operacionales comparándolas con las de mesofilia, exponiendo en la aportación de cualidades previamente acatadas, un superior aprovechamiento del biogás por capacidad de materia volátil, y un plan de mejoramiento tras el tratamiento del efluente para el proceso de digestión de la termofilia, lo que resulta un proceso muy rápido en

la deshidratación en compañía de una capacidad productiva inferior de olores indeseables. **Campos A (2011)**.

2.1.5.4. Sensibilidad de las bacterias

Una gran variedad de los organismos de origen de termofilia contienen valores porcentuales de expansión superiores a los agentes de mesofilia. Por lo general la temperatura apropiada de operación que se encuentra en el valor de termofilia se encuentra alrededor de 55°C. Por encima de este ciclo las bacterias de carácter de acetogénesis, decrecen extraordinariamente su velocidad de desarrollo. Sin embargo, un valor preciso de desarrollo de las bacterias de influencia por la metanogénesis se mantiene incrementándose hasta valores de 70°C. **Rincón (2005)**.

Esta capacidad sensitiva ante la variación de temperatura del ambiente está establecida conforme de cualidades tales como: la capacidad de adaptación de las bacterias, de la forma en que se opera y gestiona, de la clase de digestor que se está utilizando.

Dentro del rango de la termofilia existe un aumento estrepitoso de temperatura, idóneo para efectuar un destacable declive para la producción de biogás, si un declive persiste se entiende que puede darse un menor aprovechamiento de biogás, que a su vez es totalmente alterable, o a su vez no se podrán destacar esos cambios, por lo que el descenso de la capacidad de impedimento por amoníaco **Campos A (2011)**. Con el fin de lograr un cambio en el valor de la mesofilia al de la termofilia se procede a efectuarlo el proceso de cambio muy lentamente, de esta forma se evita un descenso de la producción. **Gutierrez (2014)**.

La fuente inhibidora del amonio es mucho mayor para el valor de la termofilia que la de la mesofilia, esto se debe al incremento de la influencia toxica del metano, por el incremento de su temperatura, no obstante el contenido sensible de las bacterias de carácter mesofílico hacia el amoníaco. Adicionalmente el

impedimento del amonio es el valor porcentual hidrolítico proteínico para el valor termofilo contra el mesofilo. **Campos A (2011).**

2.1.5.5. Ventajas de los diferentes rangos de temperatura

El tratamiento termofílico muestra una significativa ventaja por parte de la supresión de bacterias y agentes externos que de alguna manera influyan primordialmente sobre el efluente, explícitamente en su utilización como fertilizante.

Para el tratamiento de termofilia se debe elevar la temperatura a valores superiores a 50°C, y se efectúa un tratamiento de limpieza y degradación anaeróbica. Este procedimiento nos permite obtener un rechazo por parte de estos organismos, pero esto depende de la clase de virus, de la duración del método y de la temperatura operativa. **Campos A (2011).**

Un curioso método, primordialmente en edificación donde el proceso de digestión sea por depuración de lodos, esta mezcla en sus dos ciclos, una para una carga superior en temperaturas termofílicas y una segunda con menor carga en temperatura de mesofilia. Mediante este método se consigue utilizar e implementar beneficios del proceso termofílico, y a su vez se disminuyen ciertas dificultades de control. **Campos A (2011).**

2.1.5.6. Influencia de la temperatura sobre aspectos físico-químicos

De manera particular ante elevadas temperaturas, el valor porcentual de actuaciones químicas y biológicas logra obtener una rapidez majestuosa, en confrontación de las temperaturas inferiores. La rapidez con que reacciona ante los procedimientos biológicos, son una función de la rapidez de desarrollo de las bacterias que se encargan al mismo tiempo de mantener esa temperatura. **Universitat de Lleida (2010).**

Con el incremento de bajas temperaturas disminuyen los parámetros de disolución de gases como metano, azufre e hidrógeno y de esta manera desvaneciéndose velozmente en el medio acuoso. La disolución con una gran cantidad de sales que incrementan la temperatura.

Esta cantidad de sales son capaces de desarrollar una gran solubilidad, siempre a temperaturas elevadas, lo que significa que la biomasa es muy adecuada en el proceso de descomposición por parte de las bacterias, que a su vez aumentan la rapidez del procedimiento. Sin embargo, mediante partículas tóxicas, al aumentar su disolución en función de su temperatura potencialmente tendrán una mayor peligrosidad, de manera que existe una inhibición de la variedad de compuestos orgánicos para el rango termofílico, tal como con los ácidos grasos que poseen cadena larga. **Reinoso (1997)**.

Las bacterias metanogénicas son perceptibles a las permutaciones de temperatura de organismos en el digestor. Esto afecta a los demás grupos de bacterias para crecer rápidamente, como las acetogénicas, estas pueden adquirir un metabolismo esencial, inclusive a bajas temperaturas. Los niveles de reacción química y biológica se incrementan ordinariamente con el aumento de temperatura hasta un rango de temperatura permisible para muchos microorganismos. Las altas temperaturas provocan un declive del metabolismo, por causa de la degradación de enzimas es fundamental para el desarrollo de las bacterias. **Díaz, Martínez, & Rodríguez (1999)**.

Todas estas cualidades deben estimarse previo a seleccionar un rango de temperaturas que garantice el funcionamiento del digestor, debido a que incrementa la eficiencia y producción de biogás, comparablemente se incrementaran la inversión de edificación, operatividad y mantenimiento, sobretodo la gestión de la misma.

Para el funcionamiento de los biodigestores deben ubicarse a temperaturas termofílicas y mesofílicas, las cuales comúnmente están dotadas de sistemas de

calefacción, estos no se consideran en digestores rurales económicos trabajando a bajas temperaturas. **Bioreactorcrc (2015)**.

Esta temperatura está intensamente concatenada con la capacidad temporal de retención de la materia orgánica dentro del digestor, de manera que permita simplificar su degradación. Conforme aumente la temperatura, se acortan los tiempos de retención y esto provoca que se necesite un mínimo volumen de digestor para digerir una misma cantidad de biomasa. **Textos Cientificos.com (2005)**.

2.2. Tiempo de retención hidráulica

El Tiempo de retención hidráulica es el tiempo de estabilidad de la biomasa dentro del digestor. Naturalmente no existe una forma de selección generalizada para conocer tiempo de retención. Esto será influenciado por la temperatura ambiente y la capacidad de alimentación del biodigestor. Estos parámetros permiten identificar la capacidad del volumen del equipo. Este depende de la degradación de materia orgánica. Materia de degradación rápida requiere uno menor. Además depende de la carga orgánica volátil seleccionada. **AquaLimpia, (2008)**.

La tasa de retención hidráulica sólo puede ser constante en los biodigestores tipo batch, donde esta se coordina con el tiempo de permanencia del cosustrato (mezcla de materia orgánica) en el interior del digestor. Para digestores continuos y semi-continuos, la capacidad temporal de retención se identifica como el periodo de tiempo diario en comparación a la capacidad volumétrica del digestor y la capacidad de alimentación diaria. El tiempo para la retención establece el tiempo de permanencia de la biomasa dentro del digestor hasta su descarga. Muestra también de manera indirecta la carga del digestor con materia orgánica, porque al disminuir el tiempo de retención, el tiempo será menor de las bacterias para la degradación de la materia orgánica. **Hilbert (2010)**.

La tasa de retención hidráulica está también profundamente relacionada con tres factores: la carga orgánica volumétrica, la clase de residuo y su temperatura interna. Ante la selección de una elevada temperatura del procedimiento, esto dependerá de una depreciación para el periodo de retención utilizable, lo que establecerá capacidades volumétricas mínimas para el digestor, útiles para conseguir la digestión un determinado volumen de biomasa. Esto corresponde a los efluentes de las extractoras de aceite de palma africana que alcanzan temperaturas de 75 °C.

En proporción al tipo de sustrato, normalmente las biomásas con una gran proporción de carbono retenido en moléculas tenaces como la celulosa requerirán un mayor tiempo de retención para poder digerirlos totalmente. **Textos Científicos.com (2005).**

La tasa de producción de biogás se incrementa proporcionalmente a las cargas del digestor hasta alcanzar un punto máximo. De manera que el aumento del ingreso de biomasa durante un determinado tiempo, totalmente no permite una degradación adecuada y decrece el aprovechamiento del biogás. De manera que continua disminuyendo la tasa de retorno hidráulica se disminuye rápidamente la producción de biogás, ya que debido a la pequeña tasa de retención hidráulica se descarga materia orgánica sin que pueda degradarse dentro del digestor. **Bosch Martí (2011).**

Por las causas expuestas se debe considerar que en el proceso de operación del sistema y control de los biodigestores, el ingreso de materia orgánica se incrementa gradualmente y que no pueda exceder los volúmenes máximos de biomasa para alimentar al digestor. **Bosch Martí (2011).**

En la práctica jamás se logra alcanzar una producción máxima de biogás. Este proceso es resistente y no es afectado por variaciones en la cantidad de biomasa con la que se alimenta el digestor. Es provechoso encontrar un punto de equilibrio entre la estabilidad del proceso y la producción de biogás.

En países que poseen un clima frío y mucha experiencia en la construcción de biodigestores, por ejemplo: En Dinamarca se dimensionan los biodigestores para una tasa de retención hidráulica de 16 - 20 días, mientras que en Alemania se dimensiona para esta tasa de 45-60 días. En estos dos países se deben considerar que las temperaturas promedio anuales son de 5°C con un promedio de 70 días de verano con temperaturas mayores a 21 °C.

Si la tasa elegida es demasiado pequeña, las bacterias no tienen tiempo de formarse y crecer. Es necesario que las bacterias puedan desarrollarse en los días necesarios para duplicarse. Por esto se considera como límite inferior de la tasa el valor de 10 días como mínimo para la producción de bacterias metano genéticas. El límite superior, está dado por situaciones económicas. Si en algún momento ocurre que la tasa es muy grande y la producción de biogás es muy baja provoca que exista una gran rentabilidad de la instalación por sus altos costos de construcción. **Ocampo (2010)**.

Por todas estas razones económicas es necesario que el TRH se elija también considerando el aspecto económico, el monto de la inversión. El TRH se lo calcula considerando los siguientes aspectos:

- La carga orgánica volumétrica $\leq 3 \text{ kg/m}^3 \times \text{día}$
- Que el volumen de biodigestor que se obtenga permita aumentos del +- 10% en la cantidad de biomasa que se alimenta al digestor.
- Temperatura de proceso.
- Por esta razón cuando se dimensiona un digestor se debe considerar un volumen de seguridad del 20% adicional. **Ocampo (2010)**.

2.2.1 Acidez

Este valor se puede considerar primordial en cuanto al control del funcionamiento de los biodigestores, esto se debe a que las bacterias productoras de metano, poseen una sensitiva capacidad ante su condición. De manera que el pH se encuentre en el rango de 6,5 a 7,5, consiguiendo una eficiencia alta para la

degradación de la biomasa y una superior influencia por parte del metano. La degradación se efectúa al existir fluctuación de pH menores a 6,5. **Bosch Martí (2011)**.

Los ácidos grasos volátiles, como el caso del acetato, poseen una característica que les permite reducir el nivel de pH del residuo. Estas bacterias no logran transformar estos ácidos como los organismos acetogénicos, lo que produce que se acumulen y reduzcan su pH. **Urbáez & Carballo (2007)**. Comúnmente la concentración de ácidos grasos volátiles no supera los 2 a 3 gramos/l, denominados como ácido acético. Si llega a excederse de este nivel, la degradación será defectuosa al menos por 3 días, hasta que no consiguen reutilizar estos ácido conforme a la rapidez con que se desarrollan. **Bosch Martí (2011)**.

Con el fin de conseguir una operatividad de los procesos anaerobios, es primordial el desarrollar las cualidades y situaciones ambientales para que el entorno de crecimiento de los microorganismos sea eficiente para el aprovechamiento energético. **Ocampo (2010)**.

Muchos productos químicos pueden ser utilizados para el control del pH. Dentro de estos productos se encuentra la cal hidratada Ca(OH)_2 , cal virgen CaO , carbonato de sodio Na_2CO_3 , bicarbonato de sodio NaHCO_3 , hidróxido de sodio NaOH , y bicarbonato de amonio NH_4HCO_3 . **Ocampo (2010)**. Estos productos químicos pueden ser diferenciados en dos clases:

- Aquellos que garantizan una alcalinidad por medio de bicarbonato expresamente.
- Aquellos que garantizan una reacción por medio de gas carbono para obtener una alcalinidad. **Ocampo (2010)**.

La cal es aplicada usualmente para reducir el pH, por ser más barata y común, pero por ser un compuesto o producto bastante insoluble puede ocasionar serios problemas operacionales al digestor. **Bosch Martí (2011)**.

El gas carbónico presente en el digestor reacciona con la cal para formar bicarbonato de calcio pudiendo provocar un vacío (vacuo) en el digestor. Si la disponibilidad de gas carbónico no es suficiente para reaccionar con la cal, el pH final puede ser aún más elevado, lo que puede ser más perjudicial que un pH bajo. Adicionalmente se pueden formar en el fondo del digestor, precipitados e incrustaciones que pueden presentar serios problemas operativos. **Ocampo (2010).**

El bicarbonato de sodio posee propiedades muy fáciles de utilizar, ya que posee una solubilidad alta, sin la necesidad del gas carbónico, aunque el precio de operación sea superior. Para bajar el pH se puede utilizar ácido clorhídrico o sulfato ácido de sodio (bisulfato sódico). **Ocampo (2010).**

Además el pH posee cualidades destacables en cuanto a la examinación de los procedimientos anaerobios, ya que la mayoría tienen un grado de control sobre él. Algunos ejemplos de las cargas ante agentes externos en la tapa de metanogénesis, pueden ocasionar cierto desbalances para el aprovechamiento y el exceso de ácidos volátiles, podrían producir un exceso y como efecto un declive del pH, además de acidificación dentro del biodigestor, el descenso de pH podría ser veloz.

Para desechos vacunos, pueden aparecer cantidades elevadas de alcalinidad, un declive de pH, que en general será insignificante aunque se presenten acumulación de los ácidos. **Universitat de Lleida (2003).**

La robustez ante el amortiguamiento para el pH puede ser establecido de esta forma. Mediante una muestra de 100ml de desechos dentro del biodigestor, se procede a dimensionar el parámetro del pH. Una vez efectuada el dimensionamiento, se determina este valor sumando 0,1 mol/l de ácido hidroclicorido. Tras lo que añade de manera que pueda alcanzar un valor de 5 en el pH.

Esta cantidad se adiciona hasta que sea exactamente esta medida, con lo que determinamos la resistividad de amortiguamiento del residuo. Posteriormente agregamos de nuevo hasta que el valor del pH llegue a 4,3 (Bosch Martí, 2011). El resultado es un dato para obtener el valor de los ácidos volátiles. Al obtener un pH=4,3 se alcanza el límite del sustrato que no contiene hidrógeno de carbono y por lo tanto nada de carbonatos. **Ocampo (2010)**.

Significa que el residuo no posee la capacidad alcalina. Esta capacidad se le debe añadir de manera que logre obtener el valor del pH. El valor que permite dimensionarlo se establece como la semejanza del ácido para obtener un pH de 5 hasta 4,3 por encima del ácido para obtener un dato de pH=5. **Bosch Martí (2011)**. De manera que al aumentar estos parámetros se manifiestan ciertas fluctuaciones en su estimación. Se deben tomar medidas para mejorar la concentración de carbonato inorgánico aumentando la alcalinidad de la biomasa.

2.2.2. Alcalinidad

La alcalinidad puede definirse como la capacidad del tampón del medio. La cual puede ser obtenida mediante un criterio de selección de valores de mezclas, que por lo general es imprecisa. Dentro del rango de pH 6 hasta 8, existe un balance químico que permite manipular la alcalinidad.

Cuya semejanza se denomina como relación de la propiedad alcalina para los ácidos grasos con efecto al bicarbonato (Universitat de Lleida, 2003), tras lo cual no se recomienda exceder los parámetros de 0,3 hasta 0,6 de modo que se eviten problemas por la acidificación un valor de 0,3-0,6 para evitar la acidificación del biodigestor Los valores alcalinos prioritariamente deben ocupar un valor superior a 2500 mg/l de manera que se controle el balance del biodigestor.

En primer lugar cabe destacar el oxígeno debido a que algunas fases como la metalogénesis, las llevan a cabo bacterias estrictamente anaerobias. Sin embargo el efecto inhibitor del oxígeno no es permanente ya que en la flora

bacteriana existen también microorganismos facultativos que irán consumiendo el oxígeno que pueda tener el medio. **Gutierrez (2014)**.

Los compuestos tóxicos incluso en bajas concentraciones afectan la digestión disminuyendo los niveles de metabolismo. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque todos los grupos pueden ser afectados. Aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales, metales, etc. Si la biomasa a degradar es muy rica en nitrógeno se producirá un exceso de amoníaco que inhibirá el proceso. **Junta de Extremadura (2010)**.

2.2.3. Porcentaje de degradación

El grado de degradación indica el porcentaje de biomasa que se codigestiona. Esta descomposición de materia orgánica hasta su solidificación es obtenible si no hay presencia de lignina. En la práctica se necesitaría tiempos de retención muy grandes para lograr una degradación total de la biomasa.

La degradación de la biomasa en un digestor no es constante, empieza en forma acelerada y después es bastante lenta. Los últimos porcentajes de biogás (si se trata de lograr una total degradación de la biomasa) se podrían conseguir grandes volúmenes para el digestor. Grandes volúmenes de digestor ocasionan elevadas inversiones para un proyecto.

El valor porcentual de descomposición podrá obtenerse para un digestor que involucre además la clase de materia orgánica, la clase de animal, del tipo de suplemento. Si se codigestionan varios tipos de biomasa, depende de las características físico química de los componentes de la mezcla en el digestor. En la práctica se logra un porcentaje de degradación del 35 al 75 %.

En término medio se puede lograr un porcentaje de degradación de aproximadamente el 65 %. Si se trata de digestores que se alimentan con

cultivos energéticos como el maíz, pasto, trigo, etc. se puede lograr un porcentaje de degradación en promedio del 80 %. **Gutierrez (2014)**.

2.2.4. Nutrientes

Para que se produzca el crecimiento y la actividad microbiana, es necesario un aporte de nutrientes a las células y bacterias. Estos nutrientes como carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales, deben estar presentes en el sustrato que alimenta al biodigestor. Las pequeñas concentraciones de sodio, potasio, calcio, molibdeno o hierro favorecen la descomposición del sustrato y la formación de metano. **Moncayo (2005)**.

Además de una fuente de carbón orgánico, los microorganismos requieren de nitrógeno, fósforo y otros factores de crecimiento que tienen efectos complejos. Los niveles de nutrientes deben de estar por encima de la concentración óptima para las bacterias que producen metano, ya que ellas se inhiben severamente por falta de nutrientes. **Díaz, Martínez, & Rodríguez (1999)**.

2.3. Agitación - mezclado

Para el sistema de agitación para los digestores existen múltiples propósitos que se pueden esclarecer de la siguiente manera. El fin es mantener un grado de conexión entre la cantidad de desechos frescos con los que ya han sufrido algún grado de descomposición de manera que favorece al escape de gases, brindando una densidad maravillosa en el desarrollo de la flora bacteriana, además este controla la aparición de costras y espumas, evita alguna posible sedimentación, y contribuye a la reducción de espacios vacíos que influirían negativamente sobre el biodigestor, y facilitando del transporte hidráulico. **Bosch Martí (2011)**.

Los más buscados con la agitación son: eliminación de algún tipo de cavitación en el interior del digestor, facilitar la mezcla de todos los organismos, agregar

una cantidad de desechos frescos, controlar el espacio de contacto. **Acuña (2010)**.

El uso de agitadores en los digestores es indispensables por estas circunstancias.

- Apropiaada consistencia de la mezcla en el proceso de digestión dentro del biodigestor.
- Apropiaada colocación y contacto de desechos y transferencia de temperatura en el interior del biodigestor
- Disminución en el desarrollo de costras por acción de la materia residual en el fondo del recipiente.
- Ejecución y gestión adecuada para captación de gas. **Bosch Martí (2011)**

Para la correcta selección y obtener un adecuado sistema de agitación deberán considerarse los siguientes puntos: Se debe tener un criterio adecuado para lograr conseguir un sistema promedio. Hay muchos diferentes tipos de sistemas, que pueden ser catalogados desde su aplicación, hasta equipos industrializados o más complejos para la recirculación de biogás. **Biogas - Portal de ingeniería ambiental (2005)**.

2.3.1. Factores que impiden una apropiada producción de biogás.

Si llegase a disminuir la producción del biogás puede ocasionarse por múltiples circunstancias. Por ejemplo puede ser por circunstancias de operación o de mantenimiento o a su vez esta puede haber sido ocasionada por mecanismos restringidos. Los cuales en pequeñas proporciones pueden llegar a influir contrariamente al aprovechamiento de biogás o en el balance de procedimiento anaerobios. Estos mecanismos por medio de alimentación son depositados en el interior del biodigestor, por medio de la materia orgánica, de manera que se desarrolle en parte del procedimiento anaerobio.

Durante la alimentación de los biodigestores hay que tener en cuenta que concentraciones muy elevadas de biomasa pueden ocasionar un deterioro del

proceso por las altas concentraciones de elementos inhibidores que puede contener esta biomasa. **Bosch Martí (2011)**.

Este es el caso de los antibióticos, desinfectantes, fungicidas o metales que puede contener la biomasa. Pero también elementos esenciales para el crecimiento de las bacterias metano genéticas pueden causar inhibición en el proceso si estos elementos ingresan al digester en muy altas concentraciones.

También durante el proceso de producción de biogás se forman sustancias o elementos compuestos que pueden inhibir el proceso anaeróbico. Particularmente el amoníaco se utiliza como mecanismo restringido en caso que se encuentre una baja influencia dentro del biodigestor. **Bosch Martí (2011)**.

Este mecanismo siempre deberá poseer un balance en función del contenido de amonio. El amonio actúa con el agua y se convierte en amoníaco. Lo que involucra que se vuelve una fuente de alcalinidad, donde el balance de los mecanismos se separa y aumenta este porcentaje.

De manera que el amonio se suministra a los organismos de nitrógeno, en cantidades mayores a 0,15 g/l, el amoníaco actúa como un agente externo. Pero superando este valor, el promedio de estos valores son casi iguales a 3000 mg/l, los cuales interactúan como un procedimiento restringido. **Bosch Martí (2011)**.

La magnitud de toxicidad depende de diversos factores, incluyendo concentración de los contaminantes y su aclimatación. Normalmente la rapidez del desarrollo de microorganismos se incrementa con el valor porcentual del residuo, alcanzando un límite y en función de cada situación, este puede alcanzar a disminuir. Mientras que en valores absolutos, una mezcla puede llegar a ser tóxica según su influencia. **Rincon (2005)**.

Los fenómenos de antagonismo y sinergismo son muy importantes al hablar de toxicidad. Antagonismo es una reducción de la toxicidad de un sustrato en

presencia de otro y sinergismo es el aumento del efecto tóxico de una sustancia causada por la presencia de otra. Si una sustancia no está en solución, no puede penetrar dentro de la célula y por tanto no podrá afectar el metabolismo del organismo. La magnitud del efecto tóxico de una sustancia puede ser reducida significativamente por aclimatación de la población de microorganismos al tóxico. **Universitat de Lleida (2003).**

De manera similar el grado de temperatura es de vital importancia en cuanto a determinar la toxicidad de una mezcla. La mayoría de estas pueden afectar considerablemente a la codigestión y al desarrollo de bacterias anaeróbicos. **Universitat de Lleida (2003).**

Los compuestos tóxicos incluso en bajas concentraciones afectan la digestión disminuyendo los niveles de metabolismo. Las bacterias metanogénicas son generalmente las más sensibles, aunque todos los grupos pueden ser afectados. **Urbáez & Carballo (2007).**

Aparte del oxígeno, inhiben la digestión, concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales, metales, etc. Si la biomasa a degradar es muy rica en nitrógeno (baja relación C: N) se producirá un exceso de amoníaco que inhibirá el proceso. Este es el caso de la gallinaza. Es por esta razón que no se puede alimentar un biodigestor únicamente con gallinaza, sino en codigestión con otro tipo de biomasa con una alta relación C: N. **Junta de Extremadura (2010).**

2.3.2. Nitrógeno con contenido de amoníaco

Los desechos vacunos poseen elevadas concentraciones de mezclas con porcentajes de nitrógeno, todo esto en función de la capacidad de ingreso de materia orgánica, además se debe determinar, el tipo de animal, y el tipo de alimentación. Este tipo de nitrógenos en la fase de digestión se hidroliza lo que da como resultado una forma inestable con contenido de amoníaco. Sin embargo, este nitrógeno aporta grandes cantidades de nutriente para el desarrollo de bacterias, cuya existencia influye en gran manera a la producción

de biogás si se estima una cantidad excesiva, puede disminuir su crecimiento **Universitat de Lleida (2003)**.

Hay una gran dispersión sobre la concentración de amonio inhibidora del proceso anaeróbico. Así, a 50°C una concentración de 1,7 gr de N-NH₄, puede ser inhibitoria para la digestión anaerobia de estiércol bovino **Universitat de Lleida (2003)**. En digestores sin calefacción se encontró signos de inhibición a una concentración de nitrógeno amoniacal de 2,5 gr. de N-NH₄/l, tanto en temperaturas mesofílicas como termofílicas, aunque al trabajar con digestores adaptados previamente, la concentración inicial de inhibición fue de 4 gr. N-NH₄/l, en el rango termofílico.

Krylova en su labor de trabajo empleando gallinaza, descubrió que la influencia del amonio superaba un valor de 2,8gr, lo que significaría una disminución del biogás generado en los rangos del 50 al 90% de metano que varía entre el 80 y 90%. Hansen de igual manera obtuvo unos resultados sorprendentes empleando purines de cerdo en una influencia de amonio de 6 gr. , de manera que la capacidad de generación de biogás, llegaron a valores pequeños que el estimado, y consiguió aplacar de manera significativa el incremento de temperatura aumentando el amonio.

Flotats descubrió que la restricción de la generación de biogás, con una influencia de 1 gr., se encontraba en valores termofílicas. Esta carga orgánica para el biodigestor y con elementos activos, consigue afectar la restricción por amonio, esto fue descubierto por Arghin y puede explicar en parte la variabilidad encontrada. **Universitat de Lleida (2003)**.

Van Velsen mediante sus investigaciones explica que la configuración apropiada para los lodos se encuentra en la fase mesofílica con una influencia de 3 gr., utilizando purines de cerdo hasta 5 gr. en lodos depurados. Algo importante a destacar es la rapidez para el desarrollo al incrementarse la influencia de nitrógeno. **Universitat de Lleida (2003)**.

La presencia de bicarbonato de amonio, resultado de la digestión anaeróbica de biomasa rica en proteínas, es beneficiosa para el digestor como fuente de nitrógeno o como tampón para amortiguar los cambios bruscos de pH. Pero por otro lado el ión amonio (NH_4) y el amonio libre (NH_3) pueden tornarse como elementos inhibidores cuando se presentan en concentraciones elevadas. La concentración de nitrógeno amoniacal debe ser inferior a 1,5 g/l.

Si es mayor, como suele ocurrir con la gallinaza, resulta tóxico. Si bien es un amortiguador, su aumento puede llegar a impedir el proceso de digestión. También son tóxicas las sales de zinc, cobre y níquel, aunque este último es necesario en ínfimas cantidades. Las sales de los elementos alcalinos y alcalino-térreos pueden ser estimulantes o inhibitorias según la concentración. **Carrillo (2003).**

2.3.3. Ácidos grasos volátiles

Estos ácidos juegan un papel primordial como fuente secundaria del procedimiento anaeróbico, de manera es necesario conocer sobre su función. Posee un rol importante en el control y examinación de los biodigestores, demostrando una ágil condición a las fluctuaciones del equipo, en caso de existir sobrecargas en la alimentación o por producción de materiales tóxicos. Este incremento de influencia debe manejarse con el declive del aprovechamiento del biogás. **Universitat de Lleida (2003).**

Para concentraciones de ácidos grasos volátiles por debajo de 50 mg, equivalente a 3.000 mg acético/l, no producen ninguna disminución de la producción de metano. Son los ácidos propiónico y valérico los primeros que afectan al proceso, mientras que el butírico y el acético han de acumularse por encima de 100 mg. para afectar a la tasa de producción de metano. **Universitat de Lleida (2003).**

2.3.4. Ácidos grasos con cadena larga

Para elevadas concentraciones se deben restringir el procedimiento de degradación. **Universitat de Lleida (2003)**. Los triglicéridos poseen un mecanismo de hidrolización, donde estos ácidos son formados. Algo importante de estas grasas es la capacidad de absorción sobre la pared celular que permite tener un control sobre la restricción.

Posee una toxicidad no alterable, de manera que se encuentra en armonía con la manera en que las bacterias coexisten unas con otras, y solo están sujetas a la presencia de bacterias acetogénicas, que permiten las degradaciones de estos ácidos, para evitar la formación de este tipo de influencia tóxica. **Universitat de Lleida (2003)**.

El carácter tóxico de este tipo de ácidos es generado dentro del valor de termofilia por sobre el de mesofilia, que puede ser involucrado con la clase de Iodo. **Campos A (2011)**.

2.3.5 Compuestos de azufre para sistemas anaeróbicos

En un medio donde los orgánicos metanogénicos se encuentran en conflicto con organismos sulfurosos, por la digestión de desechos frescos, se desarrollan ciertos beneficios termodinámicos y cinemáticos sobre estos, ya que se encargan de asimilar los hidrógenos, lo que permite obtener la cantidad H_2S para obtener un aprovechamiento de biogás adecuado. **Varnero (2011)**.

Esta clase de compuestos se caracterizan por tener un carácter de restricción, lo cual involucra una relación de la demanda química de oxígeno con los sulfatos producidos, de manera que los desechos que se encuentren con un valor de proporción de 10, presenta problemas para producir biogás, mientras que valores cercanos a 7 y 8 garantizan una gestión balanceada. **Madriz (2011)**.

Adicionalmente de estas diferencias entre compuestos, este presenta grandes cantidades de toxicidad debido a múltiples organismos en la cámara. Lo que se ve comprometido con temperaturas bajas, formando una disolución en este ciclo líquido. **Universitat de Lleida (2003).**

En general el lodo granular que se forma en el fondo de los digestores es relativamente poco sensitivo en su composición orgánica, debido a la afluencia de hidróxidos de sulfuros y valores de pH casi nulos, por lo que se deben balancear estos valores, para que ambos puedan ser sensibles ante sus actuaciones simultaneas. **Campos A (2011).**

A elevadas temperaturas existe una gran condición al transporte de H₂S de la fase líquida a gas, de manera que decrece la capacidad de disolverse, puede determinarse que existieran ciertos inconvenientes en ciclo termofílico. Estos desarrollan una restricción alrededor de 50% en relación a otros valores, entre 50 y 250 mg/l. No obstante, la influencia baja como por ejemplo a 23 mg/l en ciclos termofílicos genera procedimientos metanogénicos, donde se descompone la materia mediante un elevado porcentaje de nitrógeno, considerablemente el purín de cerdo. **Universitat de Lleida (2003).**

2.3.6. Cationes y metales pesados

Los sistemas anaeróbicos son particularmente vulnerables a altas concentraciones de metales pesados. Se ha realizado ensayos en los que altas concentraciones de metales pesados solubles han llegado a detener completamente la producción de biogás en un sistema anaeróbico.

La toxicidad de los metales pesados depende de la formación química desarrollada en el interior del biodigestor y de los niveles de pH. Los metales pesados solamente causan fallas en el sistema anaeróbico cuando se encuentran en forma de iones libres (en su forma soluble) y exceden ciertas concentraciones. Se ha demostrado que concentraciones bajas de metales pesados en un biodigestor son extremadamente tóxicas.

Para combatir la toxicidad por metales pesados en la degradación anaeróbica éstos pueden moderarse como sales de sulfato o sales de carbonato, excepto el hierro y el cromo. **Georgina Fernández (2002)**. Mediante el uso de cationes se es posible desarrollar algún tipo de toxicidad de diferentes grados, mientras que garantiza una superioridad en la toxicidad mediante el peso molecular, ya que los metales pesados, influyen en la toxicidad a bajas concentraciones **Universitat de Lleida (2003)**.

Mientras utilizando una variedad de cationes como calcio y sodio, es posible obtener una influencia alta en restricción a la degradación. Dicha influencia está directamente relacionada con sus otros compuestos. **Universitat de Lleida (2003)**.

Los procesos biológicos en ambientes anaeróbicos pueden ser inhibidos si en la biomasa se encuentran toxinas inorgánicas en forma de metales pesados o antibióticos. Cromo, níquel, zinc, cobre, plomo, arsénico, cianuro son catalogados como tóxicos. Las concentraciones disponibles de sulfatos en aguas de proceso o residuales que se aprovechen en biodigestores son las que determinan la cantidad de metales pesados que pueden ser tolerados en los procesos biológicos anaeróbicos. **Ocampo (2010)**.

El procedimiento más eficaz para controlar la toxicidad de los metales pesados es la adición de sales de sulfato para controlar la composición de los metales. Cerca de 1,8 mg/l - 2 mg/l de metales pesados pueden ser utilizados como sulfatos metálicos a través de la adición de 1 mg/l de sales de sulfato (sulfato de aluminio, sulfato férrico, etc.).

2.3.7. Desinfectantes y antibióticos

Los antibióticos empleados en las explotaciones pecuarias son defecados con los excrementos. Pero como ocurre también con los antihelmínticos, no suelen afectar mayormente la digestión debido a la dilución con materiales no tóxicos.

Los metanógenos son sensibles a los antibióticos que afectan la síntesis de proteínas o lípidos y a los que interfieren con la función de la membrana citoplasmática de las células.

Las medicinas son normalmente colocadas dentro de la alimentación de los animales, esto con el fin de lograr una superioridad en cuanto a los productos que esperan conseguir y para protegerlos. Pero dichos antibióticos afectan considerablemente el rendimiento y eficiencia energética de la digestión. **Universitat de Lleida (2003).**

Los desechos de desinfectantes para la higiene y salud de los animales que son mezclados con los estiércoles podrían llegar a contener una gran toxicidad para la degradación en biodigestor. Esta toxicidad prioritariamente proviene de su concentración y mientras son empleados. El uso de desinfectantes con contenido de cloro presenta una alta toxicidad, aún en pequeñas cantidades, lo que permite ser asimilados por los sólidos. **Reinoso (1997).**

Los desinfectantes clorados son muy tóxicos también a bajas concentraciones (<1 mg/l) pero son rápidamente absorbidos por los sólidos e inactivados. La mayoría de los detergentes sintéticos son degradados fácilmente pero si la concentración es mayor que 20 mg/l pueden afectar el proceso de digestión. Los compuestos de amonio cuaternario son persistentes y tóxicos a bajas concentraciones (1mg/l).

Los solventes clorados y derivados son tóxicos en concentraciones de 1 mg/l. La toxicidad de los sulfatos se manifiesta a concentraciones mayores que 1 gr/l y la inhibición total ocurre por sobre 4,5 gr/l. **Carrillo (2003).**

Los desechos de origen agrícola, son altamente sensibles para el uso de obtención de gas metano, ya que estos contienen mezcla de componentes tóxicos que permiten el desarrollo de bacterias, por ejemplo: los pesticidas. De manera que al ejecutar un adecuado proceso de control y limpieza, también permiten almacenar cierta toxicidad. **Reinoso (1997).**

2.4. Sulfatos

La presencia de altas concentraciones de sulfato en algunas aguas residuales industriales ha sido considerado normalmente como un inconveniente para proceder a su tratamiento anaeróbico en biodigestores debido a la competencia que se establece entre las bacterias productoras de metano y las bacterias sulfato reductoras, con la consiguiente producción de sulfuro de hidrógeno (H₂S) **Ocampo (2010).**

Sin embargo, la ejecución del procesamiento de materia degradable de estos residuos, se puede realizar debido a que existen criterios y cualidades que los organismos pueden asumir, como por ejemplo el azufre que es capaz de aceptar una cantidad de electrones con el fin obtener el sulfuro de hidrógeno. Con solo pequeñas proporciones es posible obtener un ambiente de desarrollo adecuado para el biogás. **Matamala, Decap, & Vidal (2010).**

De cierto modo, esta alta influencia de sulfato para los residuos es capaz de acarrear dificultades en el procesamiento de la biomasa, debido a las siguientes razones:

- El contenido de los sulfatos se pueden separar hasta volverlo un sulfuro que viene a ser una restricción para el aprovechamiento.
- El contenido de sulfuro ante una cantidad superior de aire proveniente de los residuos.
- Este se vuelve gaseoso y afecta de manera corrosiva al tanque y su olor es desagradable. **Matamala, Decap, & Vidal (2010).**

Estos problemas pueden restringir las aplicaciones del proceso anaeróbico para el tratamiento de algunas aguas residuales industriales ricas en sulfato, por lo tanto, es importante tener un mejor entendimiento del comportamiento de las bacterias sulfureductoras y las productoras de metano para este tipo de efluentes **Matamala, Decap, & Vidal (2010).**

De forma general durante un proceso anaeróbico pueden coexistir las bacterias sulfato reductoras con las bacterias productoras de metano, estableciéndose una situación de competición entre ambos grupos microbianos para la degradación de residuos orgánicos, considerablemente aquellos que sus composiciones son intermediarios en la degradación, como el acetato, hidrogeno e inclusive alguno ácidos grasos, como el butirato.

El resultado de esta competición determinará la cantidad de sustrato que será utilizado para la generación de sulfuro de hidrógeno o metano, respectivamente. Además existen casos extremadamente complicados donde puede influir un mayor grado de concentración de alguno de los sistemas metanogénicos o bien un sistema sulfurogénico.

Cuando la relación de la demanda química de oxígeno y los sulfatos, es de 0,67, hay teóricamente el suficiente sulfato en el medio para que toda la materia orgánica presente, sea utilizada por las bacterias sulfurreductoras, pudiéndose de esta forma operar en condiciones puramente sulfurogénicas.

La presencia de sulfatos (SO_4) en aguas residuales o de proceso, provoca por lo tanto una alteración en el crecimiento de las bacterias metanogénicas. Por la reducción de sulfato se forma sulfuro de hidrogeno (H_2S). El grado de alteración del crecimiento de las bacterias metanogénicas es más grande cuando la relación de la demanda química de oxígeno/ y sulfatos ≤ 7 .

Para relaciones >10 , gran parte del H_2S producido será removido en la fase líquida en función de una mayor producción de biogás. Parte del H_2S producido en esta fase pasa a formar el biogás y a causar problemas de corrosión y malos olores. La reducción de 1,5 g del sulfato equivale a la utilización de 1,0 gr. de la demanda química de oxígeno, lo que significa una menor disponibilidad para la producción de CH_4 .

Cada mol requiere de 2 moles de oxígeno para su reducción a sulfato. Por lo tanto cada 96 gr. Del sulfato consumen 64 gr. de la demanda de oxígeno (relación 1,5 para sulfato: 1 demanda de oxígeno)

Debido a la influencia en la eficiencia de degradación de la demanda química de oxígeno que contengan altas concentraciones de SO_4 es importante la reducción de la concentración del sulfuro libre en un biodigestor generalmente por debajo de 100-200 mg/l.

Esto puede realizarse mediante la dilución previa del efluente, por elevación del pH, o bien con la posibilidad de extender el tratamiento anaeróbico con una etapa adicional de eliminación del sulfuro, ya sea por "stripping" (desorción), precipitación u oxidación parcial a azufre elemental y la consiguiente dilución del efluente mediante una recirculación de parte del efluente final. **Ocampo (2010)**.

2.4.1 Relación carbono - nitrógeno (C: N)

Para que los procesos anaeróbicos se desarrollen y la flora microbiana actúe es necesario que la materia orgánica contenga una cierta cantidad de nutrientes. El consumo de carbono (C) es superior al de nitrógeno (N) en forma amoniacal en una relación de C/N=30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable lo cual reduce la calidad del material digerido.

Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno. Si hay demasiado carbono en la materia a fermentar el proceso se hace más lento y tiende a acidificarse. Si hay demasiado nitrógeno, éste se perderá como amoniaco, elevando el pH y reduciendo el poder fertilizante y nutriente de los lodos efluentes. **Gutierrez (2014)**.

También se requiere de una cuantía de fósforo expresado en relaciones de N/P=5:1 De igual forma se deben considerar los metales en cantidades ínfimas como aportes nutreicos, de no ser así, podría tomar un posición de restricción a la degradación **Gutierrez (2014)**. Para cumplir con las funciones enzimáticas

también se requiere de muy insignificantes influencias de hierro, azufre, etc., los cuales aportan proporciones indispensables, a cada desecho empleado. **Cuellar (2010)**.

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a la fermentación anaeróbica. La cantidad y calidad del biogás producido dependerá de la composición del desecho utilizado. El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. **Soluciones Prácticas (2015)**.

Los alimentos principales de las bacterias anaeróbicas son el carbono (en la forma de carbohidratos) y el nitrógeno (en proteínas, nitratos, amoníaco, etc.) **Lopez & Lopez (2009)**. El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. **Lopez & Lopez (2009)**.

Las bacterias utilizan carbono con una rapidez unas treinta veces mayor que su uso de nitrógeno. Si la relación C/N es alta, el nitrógeno será consumido rápidamente por las bacterias metanogénicas para formar proteínas y no reaccionará con el material restante, por tanto la producción de gas será alta **Unidad de Planeación Minero Energética (2003)**.

Si no existe suficiente nitrógeno para permitir que las bacterias se multipliquen, la velocidad de producción de gas se verá limitada. Al existir nitrógeno en exceso se produce amoníaco, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso **Gutierrez (2014)**.

Debido a estas características de la relación C/N, es muchas veces necesaria la cogeneración o mezcla de diferentes tipos de biomasa con diferente relación C/N, para aumentar o reducir esta relación hasta obtener un valor más cercano al óptimo. Los materiales con una relación C/N alta pueden mezclarse con aquellos de baja relación C/N, para dar la relación promedio deseada a la carga, que es de 20 a 30 veces de carbono por una de nitrógeno. **Gutiérrez (2014)**.

Por ejemplo la gallinaza tiene un bajo C/N debería mezclarse con una biomasa alta en carbonos como el pasto o desechos agrícolas de mercados (restos de verduras, plátano, bananos, hortalizas, etc.).

2.5. Comercialización

Kotler & Keller (2012), sostienen que la comercialización se refiere a la planificación y control de los productos y servicios que son utilizados con el propósito de favorecer el desarrollo de los mismos asegurando que estos estén en el lugar, en el momento, al precio y en la cantidad requeridos, garantizando así unas ventas rentables.

Orozco (2013), señala que la Comercialización es la actividad como tal que se realiza en el comercio. Es todo ese conjunto de actividades que pueden llegar a tener un complejo procedimiento, todo depende de la magnitud de la transacción. La comercialización comprende un procedimiento que el cliente general no ve en su totalidad, es más, el comprador es la parte final del proceso.

2.5.1. Oferta

Sapag (2011), señala que la oferta del mercado corresponde a la conducta de los empresarios, es decir, a la relación entre la cantidad ofertada en producto y su precio de transacción. Otros elementos que condicionan la oferta son el costo de producción del bien o del servicio, el grado de flexibilidad en la producción que tenga la tecnología las expectativas de los productores, la cantidad de empresas en el sector, el precio de bienes relacionados la capacidad adquisitiva de los consumidores, entre otros.

Baca Urbina (2010), define a la oferta como la cantidad de productos o servicios que un determinado número de productos u oferentes están dispuestos a vender en un mercado específico a un precio establecido.

2.5.2. Demanda

Malhotra (2008), define a la demanda es la cantidad de bienes y servicios que los consumidores desean y están dispuestos a comprar dependiendo de su poder adquisitivo.

Baca Urbina (2010), sostiene que la demanda es la cantidad de productos y servicios que un mercado determinado requiere para encontrar la satisfacción de una necesidad a un precio específico. La principal finalidad que persigue el análisis de la demanda es medir las fuerzas que de una u otra forma afectan las probabilidades de participación de un producto o servicio así como su nivel de satisfacción en el mercado. La demanda depende de una serie de funciones entre las que se puede mencionar la necesidad real del producto o servicio, el precio y nivel de ingreso de la población.

2.6. Estudio técnico

Baca Urbina (2010), agrega que el estudio técnico tiene como objetivo, verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende, también analiza y determina el tamaño óptimo, la localización óptima, los equipos, las instalaciones y la organización requerida para realizar la producción.

Galindo Ruiz (2012), sostiene que el estudio de la viabilidad técnica es aquel que determina si físicamente es posible ejecutar un proyecto. El estudio técnico es realizado para calcular los costos, inversiones y beneficios que provienen de los aspectos técnicos o de la ingeniería del proyecto. Para ello en este estudio busca las características de la composición óptima de los recursos que permitirán que la producción de un producto o servicio sea eficaz y eficiente. Para lograr esto es necesario examinar de forma detenida las opciones tecnológicas a implementar, así como sus efectos sobre futuras inversiones, costos y beneficios. El resultado del estudio técnico tiende a tener una mayor incidencia que cualquier otro estudio, es por ello que cualquier error que se

cometa podrá tener grandes consecuencias sobre la medición de la viabilidad económica.

2.6.1. Viabilidad

Coloma (2010), indica que se entiende por viabilidad es un proceso de aproximaciones sucesivas, donde se define el problema por resolver. Para ello se parte de supuestos, pronósticos y estimaciones, por lo que el grado de preparación de la información y su confiabilidad depende de la profundidad con que se realicen tanto los estudios técnicos, como los económicos, financieros y de mercado, y otros que se requieran.

Ayala (2010), expresa que los estudios de viabilidad tienen como objetivo el conocer la factibilidad de implementar un proyecto de inversión, definiendo al mismo tiempo los principales elementos del proyecto.

2.6.2. Localización

Galindo Ruiz (2012), manifiesta que la localización que se elija para el proyecto puede ser determinante en su éxito o en su fracaso, por cuanto de ello dependerán –en gran parte- la aceptación o el rechazo tanto de los clientes por usuario como del personal ejecutivo por trasladarse de una localidad que carece de incentivos para su grupo familiar (colegios, entretenimiento, etc.) o los costos de acopio de la materia prima entre muchos factores.

Baca Urbina (2010), define a la localización en un proyecto como un elemento que contribuye de manera significativa para el logro de una mayor tasa de rentabilidad sobre el capital o a su vez la obtención del costo unitario mínimo, con la finalidad de establecer el sitio donde se instalará la planta o empresa del proyecto a elaborar.

2.6.3. Tamaño del proyecto

Galindo Ruiz (2012), indica que el estudio del tamaño de un proyecto es importante para determinar el valor de las inversiones y su nivel operativo lo cual permitirá cuantificar los costos de funcionamiento y proyectar los ingresos. Además puede conceptualizarse que el tamaño de un proyecto corresponde a su capacidad instalada y se expresa en número de unidades de producción por año.

Baca Urbina (2010), agrega que el tamaño de un proyecto se refiere a su capacidad instalada la cual se expresa en unidades de producción en forma anual. Para la determinación del tamaño del proyecto es necesario tener un conocimiento con mayor precisión de los tiempos predeterminados y movimientos del proceso.

2.6.4. Ingeniería del proyecto

Baca Urbina (2010), indica que el estudio de ingeniería del proyecto se refiere a la resolución a todo lo que respecta a la instalación y el funcionamiento de la planta. Desde la descripción del proceso, adquisición de equipo y maquinaria se determina la distribución óptima de la planta, hasta definir la estructura jurídica y de organización que habrá de tener la planta productiva.

ILPES (2011), indica que la ingeniería del proyecto es la agrupación de decisiones que de una forma u otra afectan los costos totales de la producción y la manera en como estos costos se distribuyen formando un vínculo orgánico entre el estudio técnico y económico de un proyecto.

2.6.4.1. Proceso de la producción

Baca Urbina (2010), señala que el proceso de producción puede ser definido como aquel procedimiento técnico que es utilizado durante el proyecto para la obtención de bienes y servicios a partir de insumos, y se identifica como la

transformación de una serie de materias primas para convertirla en artículos mediante una determinada función de manufactura.

ILPES (2011), indica que se entiende por proceso de producción a los procedimientos técnicos que se usan en el proyecto con la finalidad de generar bienes o servicios a través de una función mejor conocida como producción.

2.6.4.2. Técnicas de análisis de procesos

Baca Urbina (2010), manifiesta que las técnicas de análisis del proceso son herramientas utilizadas con la finalidad de facilitar la distribución de la planta o de los procesos de servicio aprovechando el espacio disponible en forma óptima, lo cual, a su vez, optimiza la operación de la planta mejorando los tiempos y movimientos de los hombres y las máquinas. A continuación se mencionan las respectivas técnicas:

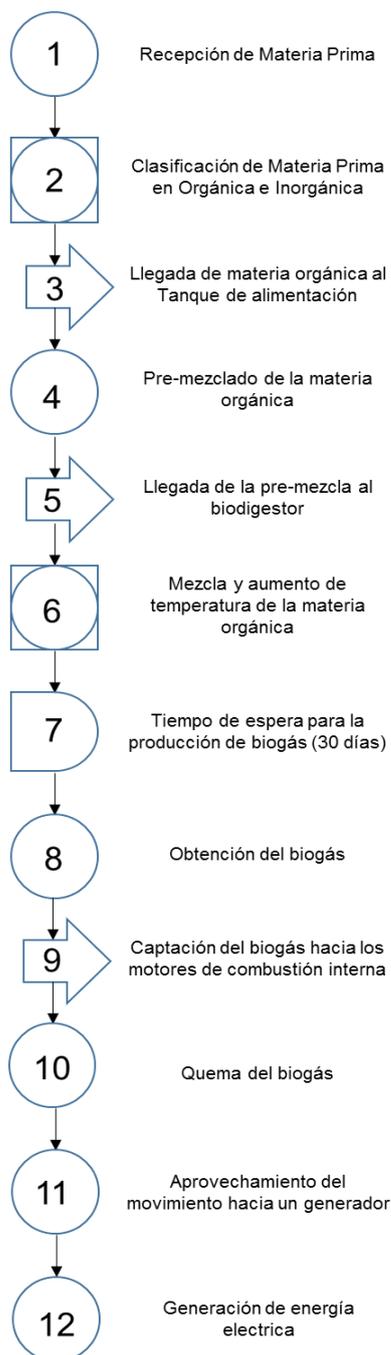
a) Diagrama de bloques

Este método consiste en que cada operación unitaria ejercida sobre la materia prima se encierra en un rectángulo; cada rectángulo o bloque se une con el anterior y el posterior por medio de flechas que indican tanto la secuencia de las operaciones como la dirección del flujo.

b) Diagrama de flujo del proceso

Este diagrama es similar al diagrama de bloques pero no tiene tantos detalles e información como el diagrama de flujo del proceso sino más bien se utiliza una simbología internacionalmente aceptada para representar las operaciones efectuadas.

Gráfico 1. Proceso de Producción para la generación de energía eléctrica utilizando el biogás.



Elaborado por: Rodger Benjamín Salazar Loor.

2.6.5. Balance de equipos

Galindo Ruiz (2012), sostiene que el balance de equipos debe ser la primera inversión a calcular, esta incluye a todos los activos físicos requeridos para el

funcionamiento del proyecto. En el estudio técnico corresponde evaluar la tecnología y la configuración de los equipos y una serie de variables para asegurar una selección adecuada del equipo y del proveedor.

Coloma (2010), expresa que el balance de equipos se refiere a los bienes tangibles que la empresa requiere con la finalidad de ofrecer sus servicios, tales como:

- Instalaciones: edificios, maquinaria, equipo, oficinas, terrenos, instrumentos, herramientas , etc. (empresa).
- Materia prima: materias auxiliares que forman parte del producto, productos en proceso, productos terminados, etc. (producto).

2.6.6. Balance de obras físicas

Galindo Ruiz (2012), agrega que el balance de obras físicas es definido una vez conocida la cantidad de equipos necesarios para el proyecto así como su distribución física. Estas obras físicas corresponden a los lugares para salas de descanso o alimentación para el personal, bodegas, estacionamientos, casetas de vigilancia, vías de tránsito, salas de espera, baños, etcétera.

Sapag (2011), define al balance de obras físicas como la cantidad de equipos y su distribución física más adecuada para el proyecto donde se considera la reducción al mínimo de los costos, así como la maximización de la efectividad del trabajo con una agrupación de tareas secuencial.

2.7. Simulación en Solidworks

El software Solidworks en la interfaz de simulación ofrece una amplia gama de herramientas para analizar estructuras, el movimiento y la multifísica de las piezas y ensambles, o para explorar la dinámica de fluidos y el flujo de calor alrededor y a través del diseño. Esto permite obtener una perspectiva real de los resultados en todas las fases del diseño, además mediante la visualización

de resultados, se pueden estudiar las fuerzas que afectan el diseño, como tensiones, desplazamientos, velocidad del fluido, presión y temperatura; todo esto en cualquier punto, superficie o volumen y expresarlo en forma gráfica para un análisis de detallado. **SOLIDWORKS (2011)**

2.7.1. Diseño en BiodigestorPro

Para el dimensionamiento y el diseño de sistemas de generación por medio de biodigestores, se lo utiliza como una herramienta precisa para determinar la producción de biogás, bioabono, potencial energético de distintos sustratos, estimación de la energía eléctrica y calorífica que pueden obtenerse de la combustión de biogás. **Aqualimpia (2013)**

CAPÍTULO III.
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Materiales y métodos

3.1.1. Materiales y equipos

Los materiales y equipos que han sido implementados para este proyecto de investigación son los siguientes:

Materiales	Cantidad
Remas de papel A4	4
CD-RW	10
Agenda	1
Bolígrafos	4
Lápices	2
Anillados	4
Carpetas	4
Empastados	2
Dispositivo de almacenamiento portátil	1
Calculadora	1
Cartuchos	8
Equipos	
Computadora	1
Impresora multifuncional	1
Cámara fotográfica	1
Celular	1

3.1.2. Métodos de investigación

3.1.2.1. Deductivo

Este método se utilizó para la recopilación de la información a través de textos, tesis y sitios web, con el propósito de obtener una base científica y analítica sobre la generación de energía eléctrica a base de biogás, su potencial, y creación de plantas generadoras de biogás.

3.1.2.2. Inductivo

Este método se utilizó con el propósito de comprobar las hipótesis con respecto al desarrollo del diseño y simulación de un sistema de generación eléctrica mediante la utilización de biogás, basándose en las conclusiones obtenidas mediante el método deductivo para finalmente obtener un criterio final.

3.1.2.3. Analítico

Este método se aplicó con la finalidad de analizar los datos de la entrevista realizada al GAD de Quevedo sobre la cantidad de toneladas de desechos sólidos producidos por este cantón y posteriormente interpretar los resultados obtenidos de dichos datos mediante la aplicación del software “Biodigestor Pro” para el dimensionamiento y el software SOLIWORKS para el diseño del presente proyecto.

3.1.2.4. Sintético

Este método ha sido aplicado con la finalidad de reagrupar cada una de las variables recopiladas a través de los métodos anteriormente, para de esta manera realizar un análisis generalizado que permitirá la elaboración de las conclusiones finales del diseño y simulación de un sistema de generación eléctrica mediante la utilización de biogás.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Descriptiva

La investigación es de carácter descriptivo ya que se recopilaron datos de una entrevista realizada al GAD de Quevedo acerca de las toneladas de desechos sólidos de la misma, estos datos son parte fundamental para que en base del mismo se desarrolle el diseño y simulación del presente proyecto.

3.2.2. De campo

Se aplicó este tipo de investigación mediante la técnica de la entrevista, donde se realizó una pregunta al gerente de la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del cantón Quevedo sobre la cantidad en toneladas anuales de los desechos sólidos.

3.2.2.1. Entrevista

La entrevista es la técnica que se utilizó con el propósito de conocer la cantidad de toneladas de desechos sólidos que produce el cantón Quevedo y que podrá ser utilizada como materia prima para la generación de biogás y a su vez de energía eléctrica. Para ello solo se utilizó una pregunta cerrada que es ¿Cuántas toneladas de desechos sólidos generó el cantón Quevedo el año pasado?

3.2.3. Documental

Se utilizó este tipo de investigación con el propósito de extraer información teórica a través de textos científicos, módulos, internet, entre otros documentos y aplicarlos para el diseño y simulación de un sistema de generación eléctrica mediante la utilización de biogás.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. No Experimental

En el desarrollo de este proyecto, se investigarán aquellas variables que permitan efectuar un diseño adecuado a las condiciones del modelo establecido, de manera que se pueda estudiar y comprobar su aplicación.

3.3.1.1. Transeccional

Como se mencionó anteriormente este será un estudio con un diseño no experimental por lo cual se interpretaran los valores según un criterio investigativo, en el que se manifiestan una o más variables, para posteriormente reordenar la información y proporcionar una visión clara para el diseño de los sistemas del biodigestor.

3.4. Población y muestra

Se utilizó la técnica de la entrevista al gerente de la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del cantón, el Ing. Félix Chang. Por lo tanto la población de la presente investigación es de una persona.

Esta información suministrada fue necesaria para determinar el número de toneladas de desechos orgánicos que se recolectan en el cantón Quevedo, los cuales son utilizados como materia prima para la producción de biogás y posteriormente la combustión del mismo para la generación del sistema de energía eléctrica propuesto en esta investigación, ya que se pretende establecer el potencial energético para su comercialización a la Corporación Nacional Eléctrica (Guayas-Los Ríos), la cual se encarga de la distribución de energía eléctrica a los habitantes del cantón Quevedo.

CAPÍTULO IV.
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados de la entrevista

1. ¿Cuáles son los servicios que realiza la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del cantón Quevedo?

Esta empresa tiene como servicios la recolección de los desechos y residuos sólidos, limpieza y barrido del cantón con la finalidad de preservar el ornato del mismo.

2. ¿Con qué frecuencia se realizar la recolección de los desechos y residuos sólidos del cantón?

Contamos con 15 carros para la recolección de los desechos y residuos sólidos del cantón y cada uno de ellos tiene su chofer y dos operarios de limpieza, los cuales realizan sus actividades a partir de las seis de la mañana y terminan sus actividades a las once de la noche. Este servicio se lo realiza diariamente.

3. ¿Uds. clasifican los desechos y residuos sólidos del cantón?

No. En la actualidad se llevan los desechos al botadero municipal, donde varias personas mejor conocidas como los “chamberos” son quienes se encargan de clasificar la basura en papel y cartón, vidrio, plástico y chatarra para posteriormente comercializarla y generar recursos propios.

4. ¿Se llevan datos estadísticos con respecto a las toneladas recolectadas de cada uno de los tipos de desechos?

Sí, pero simplemente son valores aproximados dependiendo de lo que las personas anteriormente mencionadas se encargan de clasificar. El resto se procede a restar del peso de la basura que ha sido recolectada diaria y se establece un margen para los desechos no recuperables y orgánicos.

5. ¿Cuántas toneladas de desechos sólidos generó el cantón Quevedo el año pasado?

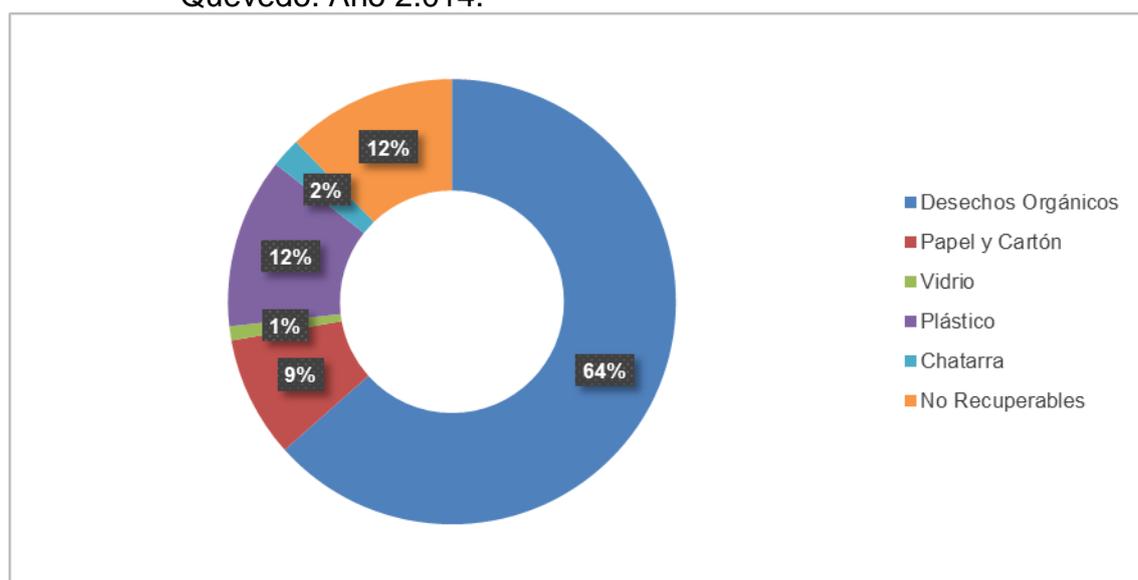
Cuadro 1. Cantidades de toneladas (en miles) de desechos sólidos del GAD de Quevedo. Año 2.014.

Tipo de Desechos	Toneladas	Porcentaje
Desechos Orgánicos	95,18	63%
Papel y Cartón	13,21	9%
Vidrio	1,55	1%
Plástico	18,55	12%
Chatarra	3,23	2%
No Recuperables	18,39	12%
Total	150,11	100%

Fuente: Entrevista realizada al gerente de la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental de Quevedo.

Elaborado por: El autor.

Gráfico 2. Cantidades de toneladas (en miles) de desechos sólidos del GAD de Quevedo. Año 2.014.



Elaborado por: El autor.

Durante el año 2.014, el cantón Quevedo produjo: 95,18 Toneladas de Desechos Orgánicos; 13,21 Toneladas de Papel y Cartón; 1,55 Toneladas de Vidrio; 18,55 Toneladas de Plástico; 3,23 Toneladas de Chatarra; 18,39 Toneladas de No Recuperables, (en miles).

6. ¿Actualmente se han elaborado proyectos para la eliminación o reutilización de los desechos recolectados?

Por el momento el tema de la recolección de los desechos y residuos sólidos del cantón ha tomado un giro político, ya que aún no se conoce si se va a proceder con los servicios de nuestra empresa municipal dedicada exclusivamente a la recolección de estos desechos o se procederá a la contratación de una empresa externa. Sin embargo, se han tratado en años anteriores la intención de crear una planta recicladora, pero este proyecto aún no se ha concretado. En Quevedo aún no existe una empresa de este tipo que cuente con las maquinarias respectivas para la clasificación de los desechos, y si las hay son empresas empíricas que no tienen un certificado que las acredite como tal. También se ha manifestado la intención por parte del Ministerio del Medio Ambiente para la creación de una planta de Biogás situada en nuestro cantón que se encargará de eliminar los desechos orgánicos para producir biogás.

7. ¿Considera que se podría implementar un proyecto que elimine los desechos orgánicos para producir energía eléctrica de forma renovable?

De mi parte, este tipo de proyectos son bienvenidos, ya que contribuyen de forma significativa con el Plan Nacional del Buen Vivir mejorando la calidad de vida de los ciudadanos de Quevedo, además considero que se debe detallar si el mismo es factible económicamente, porque de serlo así se lo debe presentar al Consejo Municipal para que ellos estudien dicho proyecto y concedan la respectiva aprobación.

8. ¿Le gustaría que se desarrolle un sistema de generación de energía eléctrica a través de un biodigestor?

Tal como le explique anteriormente, creo que es una excelente iniciativa este tipo de proyecto y sin duda alguna debería ser presentado al Consejo para que ellos se encarguen de su respectivo estudio.

- **Análisis de la entrevista**

Mediante la entrevista realizada se logró establecer que la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del cantón Quevedo, es la que se encarga de la recolección de los desechos y residuos sólidos del mismo. Estos residuos son clasificados por personas que se dedican exclusivamente a esta actividad como son los “chamberos”. Ellos la clasifican en: Papel y cartón, vidrio, plástico y chatarra.

Con dicha información la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental establece los porcentajes de residuos que reciben en el botadero municipal que son el 12% de No recuperables, 12% de plástico, 2% de chatarra, 1% de Vidrio, 9% de Papel y Cartón y el 63% de desechos orgánicos, este porcentaje que corresponde a 95,18 toneladas es el valor referencial para el diseño y simulación de un sistema de generación de energía eléctrica mediante la utilización de biogás.

Además se logró conocer que por parte del Gerente de la empresa se cuenta con el apoyo para la implementación del proyecto de un sistema de generación de energía eléctrica mediante la utilización de biogás en el cantón Quevedo.

Cuadro 2. Demanda Proyectada de áreas de concesión de empresas eléctricas de distribución.

AÑO	DEMANDA CNEL Guayas- Los Ríos (Quevedo) Gwh	OFERTA Sistema de Generación de energía eléctrica Gwh	%
2016	375	17,88	5,33%
2017	397	18,31	5,03%
2018	421	18,70	4,75%
2019	445	19,04	4,49%
2020	471	19,33	4,25%
2021	497	19,71	4,02%
2022	520	20,05	3,86%
2023	545	20,35	3,73%
2024	570	20,60	3,61%
2025	595	20,74	3,48%

Fuente: CNEL. Demanda Proyectada de áreas de concesión de empresas eléctricas de distribución

Elaborado por: Rodger Benjamín Salazar Loor.

4.1.2. Dimensionamiento y diseño del sistema de biodigestores

Para desarrollar el dimensionamiento se utilizó el software “BiodigestorPro”, el cual permitió simplificar algunas tareas como ubicación, medidas, producción, etc.; todo esto en función de ciertos valores y parámetros previamente ingresados y establecidos bajo condiciones adecuadas de trabajo.

4.1.2.1. Sistema de agitación

El sistema de agitación permite obtener una mezcla adecuada y consistente de biomasa, ya que en ciertas cantidades la digestión se debe a la homogenización de la biomasa y del contacto mutuo de las bacterias con la mezcla. El sistema está formado generalmente por: un motor reductor, un eje de transmisión y paletas o aspas dispuestas a lo largo del eje.

4.1.2.2. Selección del motor

Como criterio de diseño se estableció que la potencia del motor debe ser de 1 kW por cada 100 m³ (según Aqualimpia), en este caso los digestores tienen un volumen 2797 m³, por lo cual el motor tendrá una potencia de unos 30 KW. Además se debe considerar que el tipo de motor debe ser ATEX, ya que se está generando gases en el sistema, y podría haber algún riesgo de explosión. A partir de estas consideraciones se seleccionó un motor Marelli Motori con las siguientes características:

Cuadro 3. Especificaciones Técnicas del motor I

Potencia de Salida (Kw)	Frecuencia (Hz)	Modelo del motor	Velocidad Angular (1/min)	Eficiencia (η) (%)	Factor de Potencia (Cos ϕ)
30	50	225 M6	1175	91	0,76

Elaborado por: El autor.

Cuadro 4. Especificaciones Técnicas del motor II

Corriente (I) (A)	Corriente en arranque (Is/In) (p.u.)	Torque en arranque (Ts/Tn) (p.u.)	Torque máximo (Tmax /Tn)	Momento de Inercia (J) (Kgm2)	Peso Aproximado (Kg)
63	5,5	2,3	2,5	0,620	356

Elaborado por: El autor.

4.1.2.3. Cálculo de transmisión por bandas

1. Potencia de Diseño (P)

$$P = 30Kw = 40,23 \text{ HP}$$

Cuadro 5. Factores de servicio para bandas V

Tipo de máquina impulsada	Motores de CA: par torsional normal			Motores de CA: Alto par torsional		
	Motores de CD: Alto par torsional			Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto.		
	Motores de Combustión: múltiples cilindros.			Motores de combustión: 4 cilindros o menos.		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrifugas, transportadores ligeros.	1.0	1.1	1.4	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, maquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados.	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Fuente: Diseño de elementos de máquina. Robert. L. Mott.

Elaborado por: El autor.

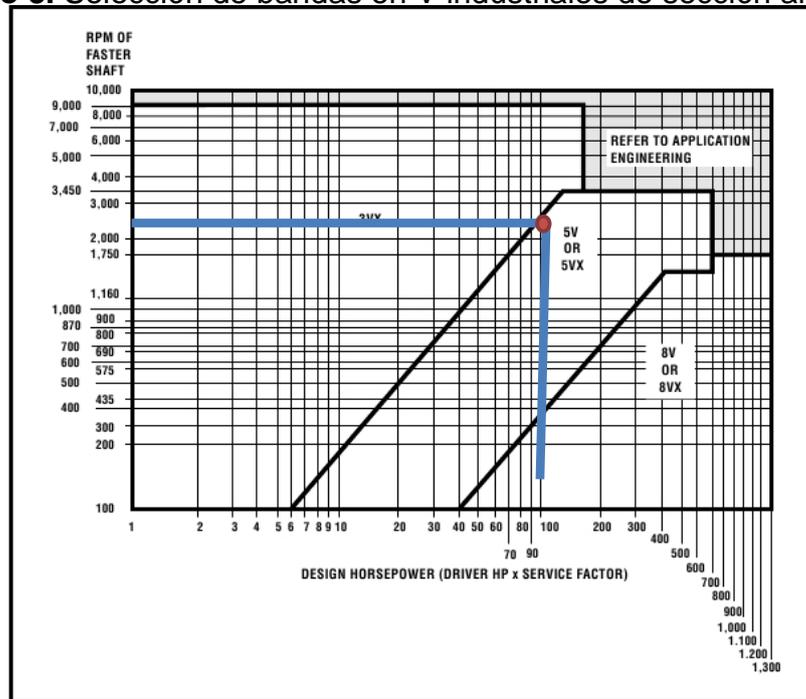
$$f_2 = 0,1 \text{ (24 horas al dia)}$$

(Hamrock, Jacobson, Schmid, & García, 2000)

$$P_{\text{diseño}} = P(f_1 + f_2) = 40,23 (1,4 + 0,1) = 60,35 \text{ HP} \quad (f_1 \text{ y } f_2 \text{ según tablas})$$

2. Selección del tipo de banda

Gráfico 3. Selección de bandas en V industriales de sección angosta.



Fuente: Dayen Corp. Dayton

Elaborado por: El autor.

Según la gráfica se debe utilizar correas 5V.

3. Relación de velocidades (i)

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1175}{330} = 3,56$$

4. Velocidad y diámetro de p Polea motriz

$$D_1 = \frac{12V_B}{\pi n_1} = \frac{12(4000)}{\pi(1175)} = 13 \text{ plg}$$

5. Selección de tamaño tentativo de poleas

En la tabla nos acercamos al valor más cercano al diámetro menor de la polea calculado en el paso anterior. Donde “D₂” es la polea mayor y “D₁” la polea menor.

Cuadro 6. Determinación del tamaño de la polea

Tamaño estándar de la polea motriz, D_1	Tamaño aproximado de la polea conducida ($1.72 D_1$)	Polea estándar más cercana, D_2	Velocidad real de salida (rpm)
13.10	22.5	21.1	720
12.4	21.3	21.1	682
11.7	20.1	21.1	643
10.8	18.6	21.1	594
10.2	17.5	15.9	744
9.65	16.6	15.9	704
9.15	15.7	15.9	668
8.9	15.3	14.9	693

Fuente: Elementos de máquinas. Bernard J. Hamrock.

Elaborado por: El autor.

Obteniendo:

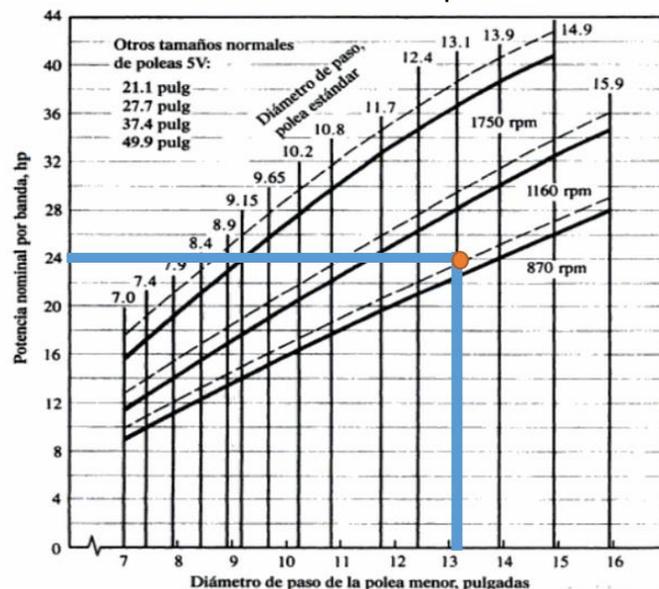
$$D_1 = 13,10\text{plg}$$

$$D_2 = 21,10\text{plg}$$

6. Potencia nominal

Se determina en función del diámetro menor determinado en el paso anterior.

Gráfico 4. Determinación de la potencia nominal



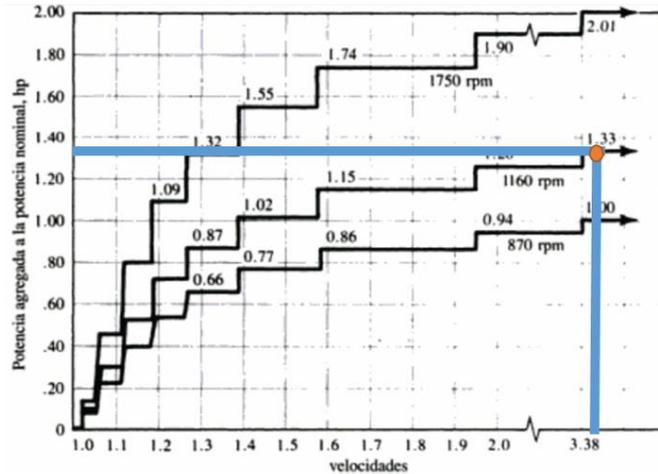
Fuente: Diseño de elementos de máquina. Robert. L. Mott.

Elaborado por: El autor.

$$P_n = 24 \text{ HP}$$

Además se debe tomar en cuenta potencias adicionales en el efecto del trabajo de la correa, esto se determina en la siguiente gráfica.

Gráfico 5. Determinación de potencias adicionales



Fuente: Diseño de elementos de máquina. Robert. L. Mott.

Elaborado por: El autor.

$$P_{\text{agregada}} = 1,33 \text{ HP}$$

Después se suman estas potencias para determinar la potencia total del trabajo de la bandas.

$$P_T = P_n + P_{\text{agregada}} = 24 + 1,33 = 25,33 \text{ HP}$$

7. Distancia entre centros (c)

Se establece una aproximación a este valor, y según el criterio del diseñador o por tanteo se establecen los valores precedentes. Donde “c” es la distancia entre centros de las poleas.

$$D_2 < c < 3(D_2 + D_1)$$

$$21,1 < c < (21,1 + 13,1)$$

$$21,1 < c < 102,6 \text{ plg}$$

Valor escogido

$$c = 24 \text{ plg}$$

8. Longitud de banda (L)

$$L = 2c + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4c}$$
$$L = 2(24) + 1,57(21,1 + 13,1) + \frac{(21,1 - 13,1)^2}{4(24)}$$
$$L = 48 + 53,69 + 0,67$$
$$L = 102,36\text{plg}$$

9. Longitud estándar

Se procede a establecer la medida de la longitud de la banda con medidas estándares disponibles en el mercado, para este caso un valor aproximado a 102,36.

Cuadro 7. Determinación de longitud de la correa

Sólo 3V	3V y 5V	3V,5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
			315	
			335	

Fuente: Diseño de elementos de máquina. Robert. L. Mott.

Elaborado por: El autor.

Valor escogido

$$L = 100\text{plg}$$

$$B = 4L - 62,8(D_2 + D_1) = 4(100) - 62,8(13,1 + 21,1) = 185,22$$

Para calcular la distancia entre centros de la polea corregida, obtenemos:

$$C = \frac{185,22 + \sqrt{(185,22)^2 - 32(21,1 - 13,1)^2}}{16}$$

$$C = 22,8 \text{ plg}$$

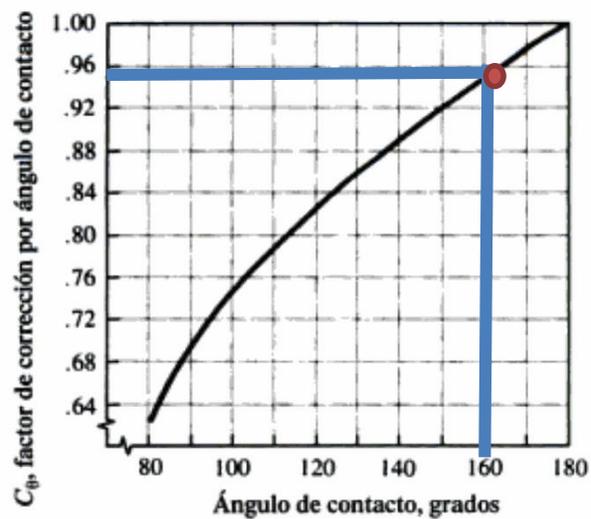
10. Angulo de contacto

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{D_2 - D_1}{2c} \right] = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{21,1 - 13,1}{2(22,8)} \right] = 160^\circ$$

11. Factor de corrección

Mediante el siguiente grafico se determinan factores útiles en el cálculo de la potencia neta

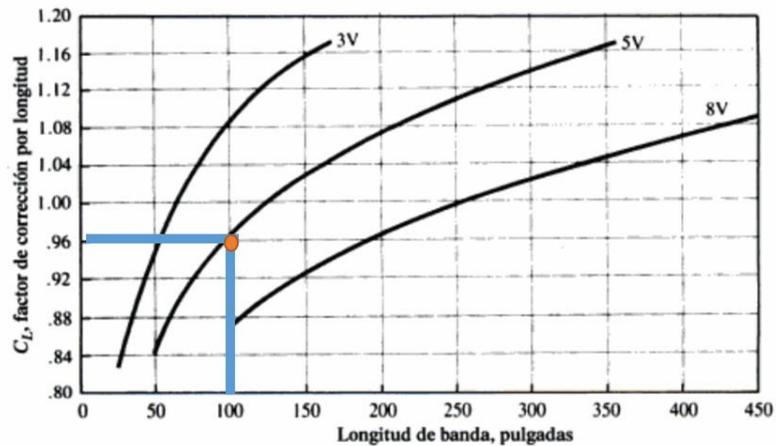
Gráfico 6. Determinación del ángulo de contacto



Fuente: Diseño de elementos de máquina. Robert. L. Mott.

Elaborado por: El autor.

Gráfico 7. Determinación del factor de corrección de la correa



Fuente: Diseño de elementos de máquina. Robert. L. Mott.

Elaborado por: El autor.

Obteniendo:

Para $\theta = 160^\circ$; $c_\theta = 0,95$

Para $L = 100^\circ$; $c_L = 0,96$

12. Potencia nominal corregida y cantidad de bandas

$$P_{\text{corregida}} = c_\theta c_L P = (0,95)(0,96)(25,33) = 23,1 \text{ HP}$$

$$\text{Num banda} = \frac{60,35}{23,1} = 2,61 \quad \text{Aproximando (3 bandas)}$$

Resumen del diseño

Entrada: Motor eléctrico, 30Kw a 1175 rpm

Factor de Servicio: 1,5

Potencia de diseño: 60,35 HP

Banda: Sección 5v, 100 plg. de longitud, 3 bandas

Poleas: Motriz: 13,10 plg. de diámetro de paso, 3 ranuras 5V

Motriz: 13,10 plg. de diámetro de paso, 3 ranuras 5V

21,10 plg. de diámetro de paso, 3 ranuras 5V

Velocidad real de salida: 720 rpm

Distancia Centro: 22,8 plg.

4.1.2.4. Elección de correas

En cuanto al dimensionamiento de la banda se utilizaron las siguientes medidas descritas en la siguiente tabla:

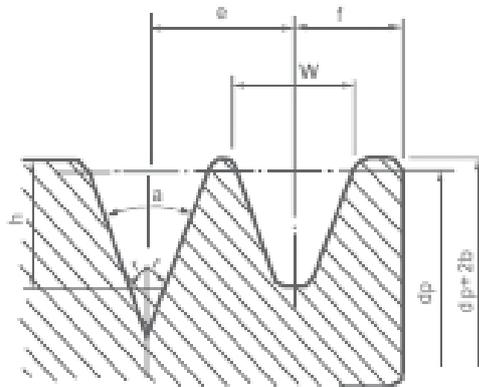
Cuadro 8. Especificaciones de la correa y polea.

SECTION	DP	a.	w	h	b	e	f	BELT CROSS-SECTION DIMENSIONS
3V (9N/9J)	< 3.50	36	0.350	0.350	0.025	0.406	0.343	3/8"X5/16"
	3.50-6.30	38						
	6.34 ~ 11.80	40						
	>11.80	42						
5V (15N/15J)	<10.00	38	0.600	0.600	0.050	0.690	0.500	5/8"X17/32"
	10.00 ~ 15.75	40						
	>15.75	42						
8V (25N/25J)	<15.75	38	1.000	1.000	0.100	1.125	0.750	1"X7/8"
	15.75 ~ 22.00	40						
	>22.00	42						

Fuente: New Standard Power Transmission (NSPT)

Elaborado por: El autor.

Gráfico 8. Dimensiones para poleas.



Fuente: New Standard Power Transmission (NSPT)

4.1.2.5. Eje de agitación

El eje de agitación está acoplado al motor-reductor y disponen de aspas o hélices ubicados en sus extremos, con el fin de poder realizar una mezcla adecuada y consistente de la biomasa, debe estar fabricado de acero inoxidable para evitar cualquier proceso de oxidación debido a las sustancias cáusticas dentro del biodigestor, y se recomienda una longitud de unos 6 m de largo para un alcance

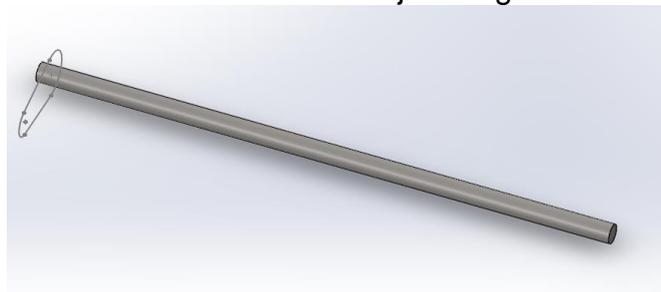
completo de mezcla de biomasa. En función de lo mencionado, se describen sus características a continuación:

Cuadro 9. Dimensiones del eje de agitación.

Material	ACERO INOXIDABLE
Longitud	6m
Diámetro	200mm

Elaborado por: El autor.

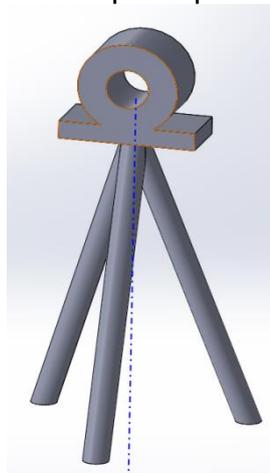
Gráfico 9. Diseño del eje de agitación.



Elaborado por: El autor.

Además debe contar una estructura lo suficientemente fuerte para soportar su propio peso, esta deberá estar ubicada y fijada sobre una base de concreto. Según la empresa Aqualimpia se debe estar colocar el trípode a unos 60° entre cada tramo.

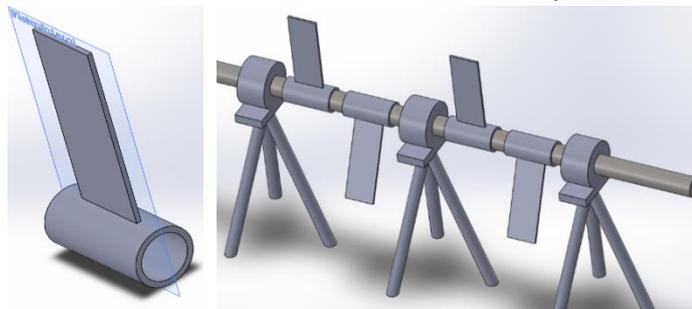
Gráfico 10. Diseño de soporte para el eje de agitación.



Elaborado por: El autor.

Las aletas que se utilizaron son perpendiculares al eje, dispuestos de dos en dos por cada tramo entre soportes.

Gráfico 11. Diseño de aletas planas



Elaborado por: El autor.

4.1.3. Biodigestor

El biodigestor tiene la función de almacenar y retener la biomasa mientras se realiza el proceso de degradación anaeróbica y se forma el biogás. El diseño ha sido elaborado mediante el software “Biodigestor Pro”, donde se ha procedido a escoger como material de diseño, planchas de acero al carbono según la norma ASTM A-36, destinada a todo lo que involucra la fabricación y diseño de recipientes a presión.

Cuadro 10. Especificaciones para planchas estructurales de acero al carbono de mediana resistencia mecánica.

Norma técnica	F	R	A	Norma Equivalente
	Kg/mm ²	Kg/mm ²	%	
ASTM A-36	25.3 (mín.)	41/56	20 (mín.)	DIN 17100 St 37-2/St 44-2
ASTM A-1011 SS36*Tp2	25.3 (mín.)	41/56	16 (mín.)	
ASTM 1-1018 SS36*Tp2	25.3 (mín.)	41/56	18 (mín.)	

Fuente: Aceros comerciales.

Elaborado por: El autor.

Cuadro 11. Dimensionamiento standard y pesos

SISTEMA MÉTRICO (mm)	TOLERANCIA ESPESOR +/- en mm	PESO TEÓRICO Kg/placas	SISTEMA INGLES Espesor Equiv. (pulg)
3.0 x 1500 x 6000	0.32 / 0.32	211.95	1/8"
4.5 x 1500 x 6000	0.50 / 0.50	317.93	3/16"
6.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	423.90	1/4"
8.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	565.20	5/16"
8.0 x 2400 x 6000	0.8 / 0.3	904.32	5/16"
9.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	635.85	3/8"
9.0 x 2400 x 6000	0.8 / 0.3	1017.36	3/8"
12.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	847.81	1/2"

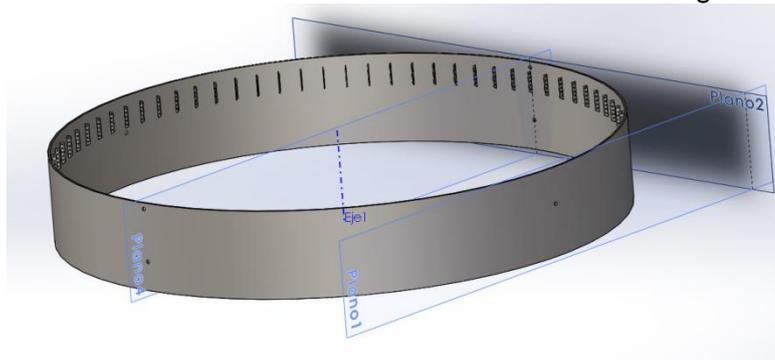
12.0 x 2400 x 6000	0.9 / 0.3	1,356.48	1/2"
16.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	1,130.40	5/8"
16.0 x 2400 x 6000	0.9 / 0.3	1,808.64	5/8"
20.0 x 1500 x 6000	0.8 / 0.3	1,413.00	3/4"
20.0 x 2400 x 6000	1.0 / 0.3	2,260.80	3/4"
25.0 x 1500 x 6000	1.0 / 0.3	1,766.25	1"
25.0 x 2400 x 6000	1.2 / 0.3	2,826.00	1"
32.0 x 1500 x 6000	1.3 / 0.3	2,260.80	1 1/4"
32.0 x 2400 x 6000	1.5 / 0.3	3,617.28	1 1/4"
38.0 x 1500 x 6000	1.5 / 0.3	2,684.70	1 1/2"
38.0 x 2400 x 6000	1.7 / 0.3	4,295.52	1 1/2"
50.0 x 1500 x 6000	1.8 / 0.3	3,532.50	2"
50.0 x 2400 x 6000	2.0 / 0.3	5,652.00	2"
63.0 x 1500 x 6000	2.3 / 0.3	4,450.95	2 1/2"
63.0 x 2400 x 6000	2.8 / 0.3	7,121.52	2 1/2"
75.0 x 1500 x 6000	2.5 / 0.3	5,298.75	3"
75.0 x 2400 x 6000	3.0 / 0.3	8,478.00	3"
100.0 x 1500 x 6000	3.3 / 0.3	7,065.00	4"
100.0 x 2400 x 6000	3.8 / 0.3	11,304.00	4"

Fuente: Aceros comerciales.

Elaborado por: El autor.

En el diseño se estableció una superficie completamente circular en forma de envoltura para obtener la forma del recipiente. Esta envoltura tiene un diámetro de 28.33 m, lo que significaría una extensión de 89.01 m y una altura de 4.5 m. Esto involucraría que se necesitarían al menos unas 180 planchas de acero al carbono para su ensamble.

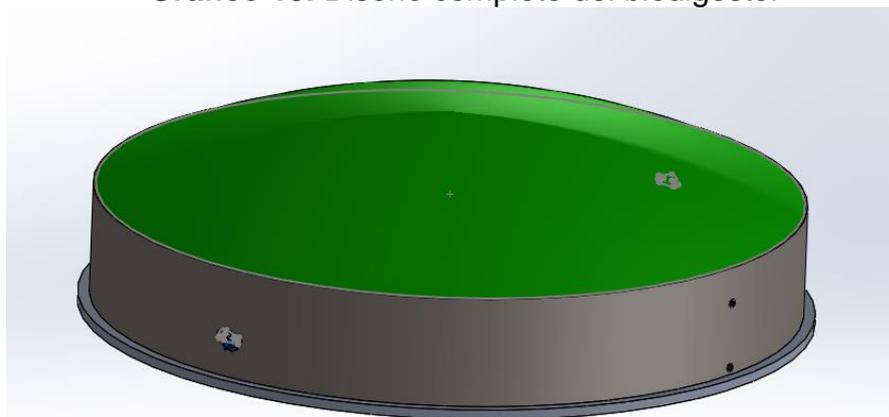
Gráfico 12. Diseño de la envoltura metálica del biodigestor



Elaborado por: El autor.

Además en la parte superior del digestor se encuentra ubicada una membrana fabricada con material EPDM, que es un caucho resistente a la presión y abrasión, además de ser un material muy flexible, en esta zona superior va a encontrarse distribuido el biogás, mientras es llevado por las tuberías de captación de gas.

Gráfico 13. Diseño completo del biodigestor



Elaborado por: El autor.

Las paredes interiores así como la membrana deben estar sometidas a un compuesto epóxico tipo Emaco P22 y Masterseal 435, que puedan garantizar y evitar el deterioro de la membrana y del acero contra la oxidación.

Cuadro 12. Especificaciones membranas EPDM-AQFlex

Especificaciones mínimas membrana EPDM			
Propiedad	Descripción	Método de ensayo	Dimensión
Peso específico	Medición directa	1.15	
Espesor mínimo mm	1.1		
Dureza shore A		ASTM-D-2240	65+10
Resistencia a la tracción manual		≥8	N/mm ²
Envejecimiento al calor		≥8	
Alargamiento a rotura natural	UEAtc	≥300	%
Envejecida al calor		≥300	
Resistencia al desgarro	UEAtc	11,7	N/mm
Estabilidad dimensional libre	UEAtc	≤0.5	%
Flexibilidad a baja temperatura	DIN 53361	Sin fisuras a -30	°C
Resistencia al ozono	DIN 7864	Sin fisuras	-
Resistencia a los rayos UV	ASTM G53-84	Sin fisuras	-
Punzonamiento estático	UEAtc	L4	
Resistencia al desgarro	UEAtc	27.8	N
84 días a 80°C 24 h a 100°C			

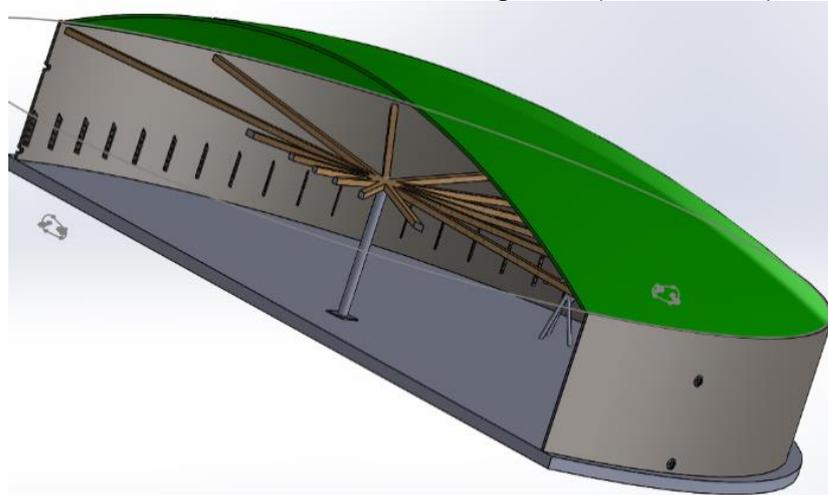
Fuente: Aqualimpia

Elaborado por: El autor.

El biodigestor debe estar ubicado sobre una capa de concreto que garantice su estabilidad y fijación, mientras que una columna de hormigón estará ubicada en el centro del biodigestor, en la cual unos tramos de madera estarán colocados

equidistantemente sobre una base superior para soportar el peso de las paredes del biodigestor.

Gráfico 14. Diseño del biodigestor (seccionado)



Elaborado por: El autor.

Cuadro 13. Dimensionamiento del biodigestor.

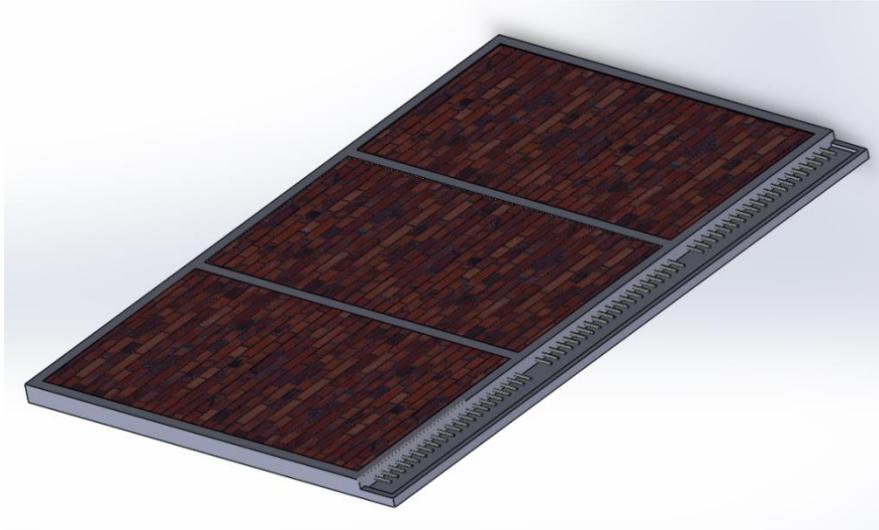
Unidades requeridas	5
Tipo	Régimen continuo
Material	Acero al carbono (ASTM A-36)
Volumen total requerido	13 985 m ³
Volumen de cada unidad	2 797 m ³
	28.13 m
	4.50 m

Elaborado por: El autor.

4.1.3.1. Lecho de secado de lodos

Es un dispositivo que tiene como función eliminar la humedad presente en sólidos, este está compuesto por cámaras hechas de concreto donde se colocan capas de arena, gravilla y en la parte superior una capa de ladrillos, en donde se va a depositar la materia sólida, mientras los líquidos se filtran a través de las capas y se depositan por medio de tuberías en una cámara externa, el objetivo del dispositivo es que se pueda obtener esta materia sólida para poder ser usada como biofertilizante.

Gráfico 15. Diseño del lecho de secado

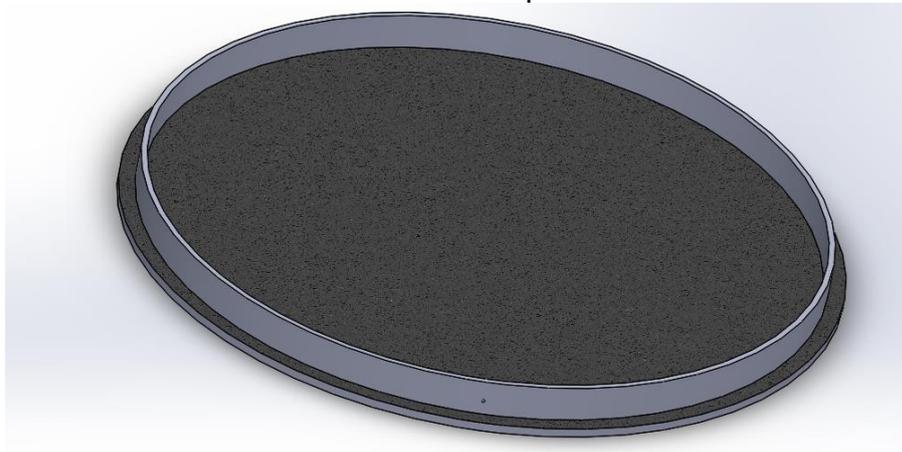


Elaborado por: El autor.

4.1.3.2. Tanque de alimentación

El tanque de alimentación es un tanque de concreto el cual tiene la función de almacenamiento y premezcla de la biomasa.

Gráfico 16. Diseño del tanque de alimentación



Elaborado por: El autor.

Cuadro 14. Dimensionamiento del tanque de alimentación

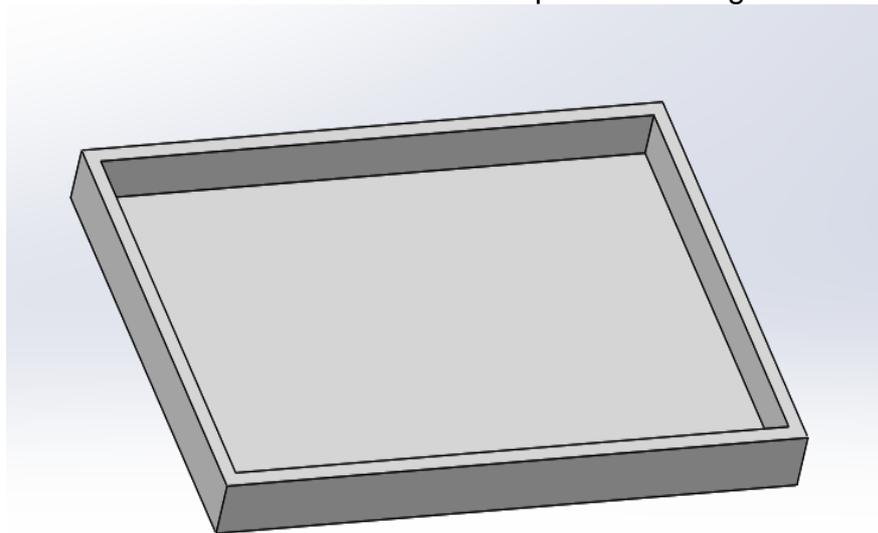
Volumen:	457.03 m ³
Largo:	22.02 m
Ancho:	22.02 m
Profundidad:	1.20 m

Elaborado por: El autor.

4.1.3.3. Tanque de descarga

El tanque de descarga es un dispositivo destinado a recibir la biomasa residida en el fondo del biodigestor, en la cual se encuentra una menor concentración de bacterias debido a que el degradamiento de la biomasa ya ha alcanzado su límite establecido y debe renovarse.

Gráfico 17. Diseño de tanque de descarga



Elaborado por: El autor.

Cuadro 15. Dimensionamiento del tanque de descarga

Volumen:	500.00 m ³
Largo:	25.00 m
Ancho:	16.67 m
Profundidad:	1.20 m

Elaborado por: El autor.

4.1.3.4. Bombas

Los equipos son destinados a la circulación y transporte de la biomasa, debe haber 2 bombas destinadas para esto, colocadas desde el tanque de alimentación al biodigestor y del digestor al tanque de descarga. Es necesario que posean un rendimiento elevado, además de que se encuentren completamente selladas. A continuación se detalla la bomba seleccionada.

Gráfico 18. Bomba seleccionada



Fuente: SKP Pumps

Características constructivas

- Cuerpo, soporte y turbine en fundición gris.
- Eje en acero inoxidable AISI 420
- Cierre mecánico en cerámica/grafito
- Motor cerrado, 2900 rpm, IP-44, ventilación exterior, servicio continuo, aislamiento clase F.
- **Tensión de alimentación:** 3 x 230 / 400 v., 3 x 400 /690 v. a partir de 7,5 CV.

Campo de trabajo

- Agua o líquidos ligeramente cargados, no abrasivos ni agresivos con los materiales constructivos.
- Máxima altura de aspiración: 6 metros
- Máxima temperatura del líquido: 40° C.

Cuadro 16. Especificaciones de la bomba

MODELO 230/400V	POTENCIA (C.V)	CAUDAL (m ³ /h)		Φ DIÁMETRO DE ASPIRACIÓN	PASO SOLIDOS mm.
		144	ALTURA MANOMETRICA (m)		
CAE-150	15		19	4"	34

Elaborado por: El autor.

4.1.4. Datos básicos de biomasa

4.1.4.1. Datos hidrológicos

Un parámetro importante es determinar las condiciones climatológicas de la ciudad o lugar de instalación, ya que esto permite mantener condiciones óptimas de funcionamiento en el interior de los digestores, además se deben considerar ciertas pérdidas del calor hacia el entorno que lo rodea.

La temperatura óptima se encuentra entre 35 – 37 °C, en caso de ubicarse en temperaturas inferiores puede provocar que las bacterias produzcan una cantidad mayor de materia volátil proveniente de la formación de sulfuros, amoniaco, nitrógeno. Y a temperaturas superiores puede provocar la muerte de estas bacterias lo que resultaría una producción de biogás a niveles muy bajos. A continuación se detallan las condiciones establecidas para la ciudad Quevedo.

Cuadro 17. Datos hidrológicos

Temperatura mínima	20 ° C
Temperatura media	26 ° C
Temperatura máxima	38 ° C

Fuente: INIAC

Elaborado por: El autor.

4.1.4.2. Tipo de biomasa y alimentación del biodigestor

El tipo de biomasa seleccionada proviene de los residuos sólidos urbanos generados y algunos desechos de tipo forestal a menor escala en el cantón Quevedo. Mediante información suministrada por el Gobierno Autónomo

Descentralizado de Quevedo se determinó que la cantidad de materia orgánica producida anualmente es de 95 180 toneladas de desechos, que equivaldría a 260.77 kg producidos diariamente, que fácilmente podrían ser aprovechados en la generación eléctrica, como fertilizante o combustible su materia sólida y líquida.

Cuadro 18. Sustrato para la alimentación del biodigestor

Nº	Biomasa	BM (ton/ día)	MS (Kg./dia)	MV (Kg./dia)
1	JARDINES, CORTES VERDES	20.60	2 472.00	2 027.04
2	RESIDUOS SOLIDOS URBANO	240.17	43 230.60	37 826.78
Subtotal		260.77	45 702.60	39 853.82
Totales		260.77	45 702.60	39 853.82

Fuente: BiodigestorPro

Elaborado por: El autor.

Cuadro 19. Datos hidráulicos del biodigestor

Tiempo de retención hidráulica:	30	(días)
Carga orgánica volumétrica:	2.85	(kg./m ³ .d)

Elaborado por: El autor.

Cuadro 20. Producción de biogás, energía y equivalencias energéticas

Descripción	m ³ (día)	m ³ (año)
Producción de biogás	25 198.42	9 197 423
Producción de metano	16 562.92	6 045 466

Elaborado por: El autor.

Cuadro 21. Equivalencias CO₂

Toneladas equivalentes CO ₂ :	90 993	(t.CO ₂ /año)
Potencia a instalar:	2 041	(kWel)
Potencia calorífica:	3 790	(kW)
Producción de electricidad:	17 877 335	(kWh/año)

Elaborado por: El autor.

Cuadro 22. Producción Específica BIOGÁS (Nm³)

Por m ³ de biodigestor	1.80	(m ³ /día)
Por m ³ de biomasa	96.63	(m ³ /m ³)
Por Kg. masa seca	0.55	(m ³ /kg.MS)
Por Kg. masa volátil	0.63	(m ³ /kg.MV)

Elaborado por: El autor.

Cuadro 23. Producción Específica CH₄ (Nm³)

Por m ³ de biodigestor	1.18	(m ³ /día)
Por m ³ de biomasa	63.52	(m ³ /m ³)
Por Kg. masa seca	0.36	(m ³ /kg.MS)
Por Kg. masa volátil	0.42	(m ³ /kg.MV)

Elaborado por: El autor.

Cuadro 24. Equivalencias energéticas biogás

Descripción	(Por día)	(Por año)
Biogás (Nm ³)	25 198	9 197 423
BTU	584 919 520	213 495 624 727
Mega Joule	617 123	225 249 808
M.cal	147 397	53 800 043
MWhe	49	17 877
HP.h	230 283	84 053 396
BHP	17 473	6 377 763
Ton TNT	148	53 878

Elaborado por: El autor.

Cuadro 25. Producción de fertilizante orgánico

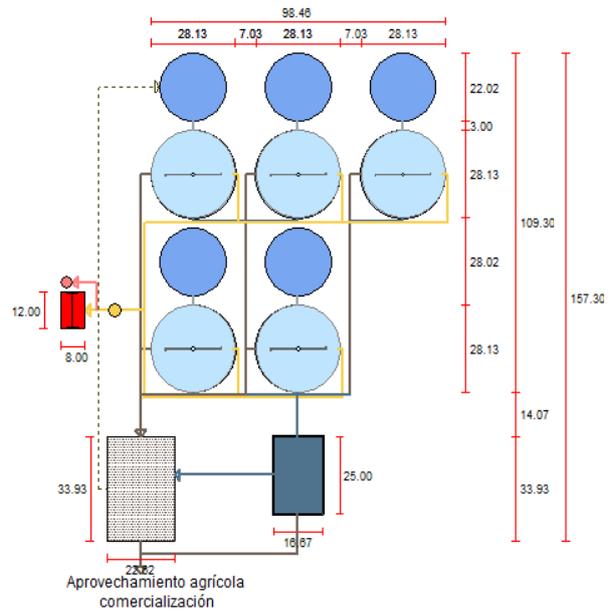
Descripción	(kg./día)	(t/año)
Producción de lodo seco	30 701.62	11 206
Producción de Biol.	401 476	146 539
Volumen total de fertilizante orgánico	432 177	157 745

Elaborado por: El autor.

4.1.4.3. Esquema del sistema del biodigestor

Utilizando el software “Biodigestor Pro” se pudo generar un esquema general de la disposición y dimensionamiento de los equipos, todo esto en función del volumen de biomasa que va a ingresar en los biodigestores. Entre los equipos se encuentran 5 biodigestores, 5 tanques de alimentación, 1 tanque de descarga y 1 lecho de secado de lodos.

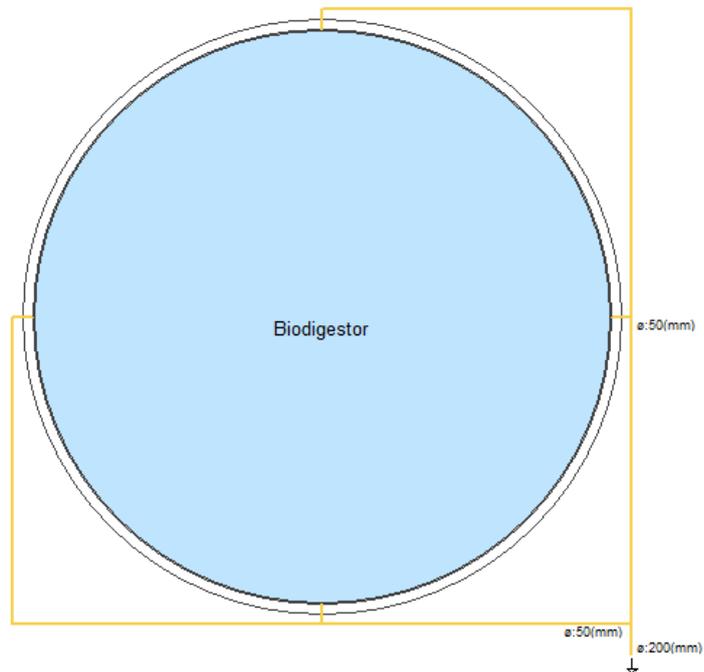
Gráfico 19. Vista Superior (Planta)



Fuente: Biodigestor Pro

Gráfico 20. Vista Superior (Biodigestor)

Tuberías de captación de biogas



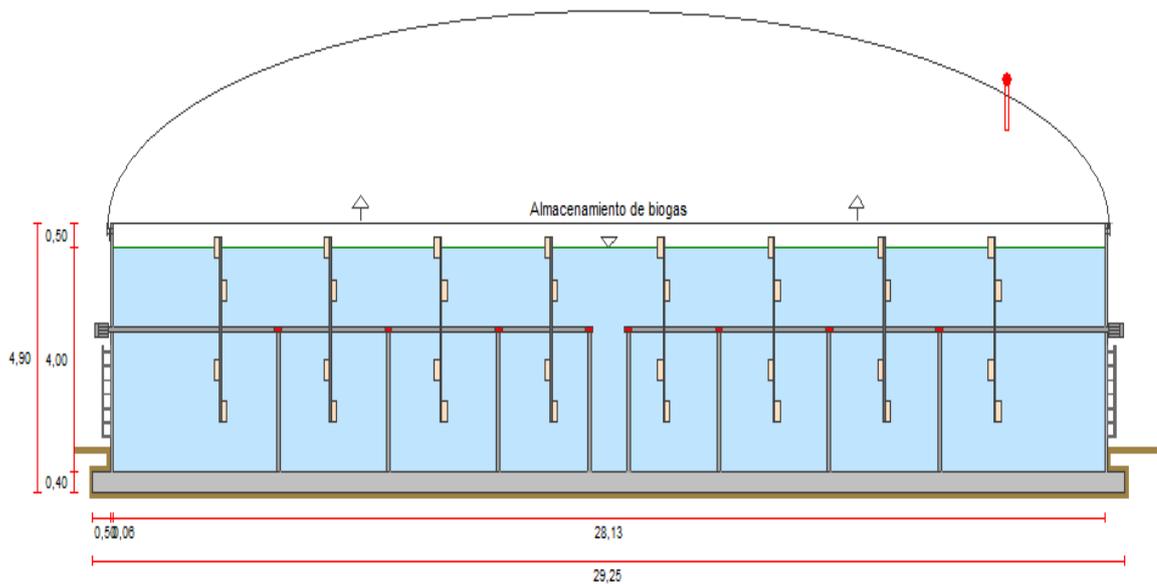
Fuente: Biodigestor Pro

Gráfico 21. Vista Frontal (Biodigestor)



Fuente: Biodigestor Pro

Gráfico 22. Vista Seleccionada (Biodigestor)



Fuente: Biodigestor Pro

4.1.5. Estudio Financiero

4.1.5.1. Determinación de inversiones

Para determinar el total de las inversiones para el presente proyecto se han considerado los costos de las respectivas adecuaciones y construcciones de las maquinarias y equipos tales como son los biodigestores, tanques y lechado de

secado de lodo. A continuación se indican las dimensiones de cada una de las partes a invertir, ya que basado en ello se establecen los costos.

Cuadro 26. Resumen de las estructuras

Descripción	Cantidad	Diámetro (m)	Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Volumen Unitario (m ³)	Volumen total (m ³)
Tanque de alimentación	5	22.02	1.2			457.03	2.285.15
Biodigestor	5	28.13	4.5			2.79	13.895.00
Tanque de descarga	1		1.2	25	16.67	500	500
Lecho de secado de lodos	1		0.5	33.93	22.62	383.75	(m ²)

Elaborado por: El autor.

Cuadro 27. Características equipo electromecánico

Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidades
Filtro de remoción de H ₂ S	1	1 050	(m ³ /h)
Generador	1	2 041	(Kw)
Quemador de biogás	1	1 050	(m ³ /h)
Agitadores por biodigestor	1	28	(Kw)
Sistema de calefacción	5	47	(Kw)
Mezclador tanque de alimentación	5	5	(Kw)

Elaborado por: El autor.

Cuadro 28. Presupuesto estimado para el Biodigestor sobre Tierra

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio unitario \$ USD	Precio Total \$ USD
Excavación	m ³	605	10.00	6.050.00
Hormigón armado fc=250 Kg/cm ²	m ³	249	250.00	62.250.00
Hormigón simple replantillo fc=140 Kg/cm ²	m	67	120.00	8.040.00
Acero de refuerzo para hormigón	Kg	14.940	3.00	44.820.00
Enlucido	m ²	672	20.00	13.440.00
Encofrado-desencofrado	m ²	28	25.00	700.00
Aislante paredes y fondo	m ²	398	30.00	11.940.00
Tuberías de alimentación y descarga	m	42	32.00	1.344.00
Tuberías de acero captación biogás	m	50	35.00	1.750.00
Accesorios tuberías (incluye válvulas de cierre)	global	13	35.00	455.00
Vigas de madera soporte membrana	m	848	25.00	21.200.00
Membrana EPDM para cubierta	m ²	932	20.00	18.640.00

Agitadores biodigestor	global	1	12.000.00	12.000.00
Acero tanque biodigestor	m ²	398	200.00	79.600.00
Bombas o sistema de alimentación	unidad	1	7.000.00	7.000.00
Pernos y anclajes	m	88	15.00	1.326.00
Válvulas de seguridad y control	Global	1	1.500.00	1.500.00
Sistema de calefacción	Global	1	8.000.00	8.000.00
Sistema de control de procesos	475000	1	5.000.00	5.000.00
Instalaciones eléctricas y tableros	Global	1	9.000.00	9.000.00
Exteriores (tuberías, cajas de válvulas, arquetas, etc.)	%	2		6.281.00
Costos aproximados de construcción 1 biodigestor				320.336.00
Costos de biodigestor por m³ de volumen				115.00

Elaborado por: El autor.

Cuadro 29. Presupuesto del tanque de descarga

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio unitario \$ USD	Precio Total \$ USD
Excavación	m ³	550	10.00	5.500.00
Geo membrana HDPE	m ²	775	15.00	11.625.00
Bombas extracción lodos del fondo	unidad	1	3.000.00	3.000.00
Costos estimados de construcción				20.125.00

Elaborado por: El autor.

Cuadro 30. Presupuesto del lechado de secado de lodos

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio unitario \$ USD	Precio Total \$ USD
Excavación	m ³	460	10.00	4.600.00
Ladrillos muros	m ³	11	35.00	385.00
Tuberías de drenaje	m ³	128	15.00	1.920.00
Grava para filtro	m ³	230	50.00	11.500.00
Arena para filtro	m ³	77	45.00	3.465.00
Ladrillo sobrepuesto filtro	m ³	77	35.00	2.695.00
Tuberías de alimentación	m ³	68	32.00	2.176.00
Bombas y sistema de recirculación	unidad	1	3.000.00	3.000.00
Costos estimados de construcción				29.741.00

Elaborado por: El autor.

Cuadro 31. Inversión requerida para la construcción del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio unitario \$ USD	Precio Total \$ USA
Tanque de alimentación	unidad	5	82.795.00	413.975.00
Biodigestor	unidad	5	320.336.00	1.601.680.00
Tanque de descarga	unidad	1	20.125.00	20.125.00
Lechado de secado de lodos	unidad	1	29.741.00	29.741.00
Filtro de remoción de H ₂ S: 1.05 (m ³ /h)	unidad	1	475.000.00	475.000.00
Quemador de biogás: 1.05 (m ³ /h)	unidad	1	475.000.00	475.000.00
Generador: 2041 (kW)	unidad	1	475.000.00	475.000.00
Exteriores (jardinería, accesos, seguridades, etc.)	global	1		69.810.00
Costos estimados de construcción				3.560.331.00
Costo por kW instalado				1.744.00

Elaborado por: El autor.

4.1.5.2. Financiamiento

Para el financiamiento del presente proyecto se considera que el GAD municipal del cantón Quevedo solicite un préstamo al Banco del Estado BIESS por el valor total de la construcción.

4.1.5.3. Amortización de la deuda

El pago del préstamo es por un periodo de 120 meses que es la duración del proyecto, con una tasa de interés del 10% anual (0.83% mensual) y el valor de la amortización mensual es de \$ 29.669.43 USD.

Cuadro 32. Amortización del préstamo del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica

MESES	AMORTIZACION	INTERESES	CUOTA	SALDO
0	-	-	-	3.560.331.00
1	29.669.43	29.669.43	59.338.85	3.530.661.58
2	29.669.43	29.422.18	59.091.60	3.500.992.15
3	29.669.43	29.174.93	58.844.36	3.471.322.73
4	29.669.43	28.927.69	58.597.11	3.441.653.30
5	29.669.43	28.680.44	58.349.87	3.411.983.88
6	29.669.43	28.433.20	58.102.62	3.382.314.45

7	29.669.43	28.185.95	57.855.38	3.352.645.03
8	29.669.43	27.938.71	57.608.13	3.322.975.60
9	29.669.43	27.691.46	57.360.89	3.293.306.18
10	29.669.43	27.444.22	57.113.64	3.263.636.75
11	29.669.43	27.196.97	56.866.40	3.233.967.33
12	29.669.43	26.949.73	56.619.15	3.204.297.90
13	29.669.43	26.702.48	56.371.91	3.174.628.48
14	29.669.43	26.455.24	56.124.66	3.144.959.05
15	29.669.43	26.207.99	55.877.42	3.115.289.63
16	29.669.43	25.960.75	55.630.17	3.085.620.20
17	29.669.43	25.713.50	55.382.93	3.055.950.78
18	29.669.43	25.466.26	55.135.68	3.026.281.35
19	29.669.43	25.219.01	54.888.44	2.996.611.93
20	29.669.43	24.971.77	54.641.19	2.966.942.50
21	29.669.43	24.724.52	54.393.95	2.937.273.08
22	29.669.43	24.477.28	54.146.70	2.907.603.65
23	29.669.43	24.230.03	53.899.46	2.877.934.23
24	29.669.43	23.982.79	53.652.21	2.848.264.80
25	29.669.43	23.735.54	53.404.97	2.818.595.38
26	29.669.43	23.488.29	53.157.72	2.788.925.95
27	29.669.43	23.241.05	52.910.47	2.759.256.53
28	29.669.43	22.993.80	52.663.23	2.729.587.10
29	29.669.43	22.746.56	52.415.98	2.699.917.68
30	29.669.43	22.499.31	52.168.74	2.670.248.25
31	29.669.43	22.252.07	51.921.49	2.640.578.83
32	29.669.43	22.004.82	51.674.25	2.610.909.40
33	29.669.43	21.757.58	51.427.00	2.581.239.98
34	29.669.43	21.510.33	51.179.76	2.551.570.55
35	29.669.43	21.263.09	50.932.51	2.521.901.13
36	29.669.43	21.015.84	50.685.27	2.492.231.70
37	29.669.43	20.768.60	50.438.02	2.462.562.28
38	29.669.43	20.521.35	50.190.78	2.432.892.85
39	29.669.43	20.274.11	49.943.53	2.403.223.43
40	29.669.43	20.026.86	49.696.29	2.373.554.00
41	29.669.43	19.779.62	49.449.04	2.343.884.58
42	29.669.43	19.532.37	49.201.80	2.314.215.15
43	29.669.43	19.285.13	48.954.55	2.284.545.73
44	29.669.43	19.037.88	48.707.31	2.254.876.30
45	29.669.43	18.790.64	48.460.06	2.225.206.88
46	29.669.43	18.543.39	48.212.82	2.195.537.45
47	29.669.43	18.296.15	47.965.57	2.165.868.03
48	29.669.43	18.048.90	47.718.33	2.136.198.60
49	29.669.43	17.801.66	47.471.08	2.106.529.18
50	29.669.43	17.554.41	47.223.83	2.076.859.75
51	29.669.43	17.307.16	46.976.59	2.047.190.33
52	29.669.43	17.059.92	46.729.34	2.017.520.90
53	29.669.43	16.812.67	46.482.10	1.987.851.48
54	29.669.43	16.565.43	46.234.85	1.958.182.05
55	29.669.43	16.318.18	45.987.61	1.928.512.63
56	29.669.43	16.070.94	45.740.36	1.898.843.20
57	29.669.43	15.823.69	45.493.12	1.869.173.78

58	29.669.43	15.576.45	45.245.87	1.839.504.35
59	29.669.43	15.329.20	44.998.63	1.809.834.93
60	29.669.43	15.081.96	44.751.38	1.780.165.50
61	29.669.43	14.834.71	44.504.14	1.750.496.08
62	29.669.43	14.587.47	44.256.89	1.720.826.65
63	29.669.43	14.340.22	44.009.65	1.691.157.23
64	29.669.43	14.092.98	43.762.40	1.661.487.80
65	29.669.43	13.845.73	43.515.16	1.631.818.38
66	29.669.43	13.598.49	43.267.91	1.602.148.95
67	29.669.43	13.351.24	43.020.67	1.572.479.53
68	29.669.43	13.104.00	42.773.42	1.542.810.10
69	29.669.43	12.856.75	42.526.18	1.513.140.68
70	29.669.43	12.609.51	42.278.93	1.483.471.25
71	29.669.43	12.362.26	42.031.69	1.453.801.83
72	29.669.43	12.115.02	41.784.44	1.424.132.40
73	29.669.43	11.867.77	41.537.20	1.394.462.98
74	29.669.43	11.620.52	41.289.95	1.364.793.55
75	29.669.43	11.373.28	41.042.70	1.335.124.13
76	29.669.43	11.126.03	40.795.46	1.305.454.70
77	29.669.43	10.878.79	40.548.21	1.275.785.28
78	29.669.43	10.631.54	40.300.97	1.246.115.85
79	29.669.43	10.384.30	40.053.72	1.216.446.43
80	29.669.43	10.137.05	39.806.48	1.186.777.00
81	29.669.43	9.889.81	39.559.23	1.157.107.58
82	29.669.43	9.642.56	39.311.99	1.127.438.15
83	29.669.43	9.395.32	39.064.74	1.097.768.73
84	29.669.43	9.148.07	38.817.50	1.068.099.30
85	29.669.43	8.900.83	38.570.25	1.038.429.88
86	29.669.43	8.653.58	38.323.01	1.008.760.45
87	29.669.43	8.406.34	38.075.76	979.091.03
88	29.669.43	8.159.09	37.828.52	949.421.60
89	29.669.43	7.911.85	37.581.27	919.752.18
90	29.669.43	7.664.60	37.334.03	890.082.75
91	29.669.43	7.417.36	37.086.78	860.413.33
92	29.669.43	7.170.11	36.839.54	830.743.90
93	29.669.43	6.922.87	36.592.29	801.074.48
94	29.669.43	6.675.62	36.345.05	771.405.05
95	29.669.43	6.428.38	36.097.80	741.735.63
96	29.669.43	6.181.13	35.850.56	712.066.20
97	29.669.43	5.933.89	35.603.31	682.396.78
98	29.669.43	5.686.64	35.356.06	652.727.35
99	29.669.43	5.439.39	35.108.82	623.057.93
100	29.669.43	5.192.15	34.861.57	593.388.50
101	29.669.43	4.944.90	34.614.33	563.719.08
102	29.669.43	4.697.66	34.367.08	534.049.65
103	29.669.43	4.450.41	34.119.84	504.380.23
104	29.669.43	4.203.17	33.872.59	474.710.80
105	29.669.43	3.955.92	33.625.35	445.041.38
106	29.669.43	3.708.68	33.378.10	415.371.95
107	29.669.43	3.461.43	33.130.86	385.702.53
108	29.669.43	3.214.19	32.883.61	356.033.10

109	29.669.43	2.966.94	32.636.37	326.363.68
110	29.669.43	2.719.70	32.389.12	296.694.25
111	29.669.43	2.472.45	32.141.88	267.024.83
112	29.669.43	2.225.21	31.894.63	237.355.40
113	29.669.43	1.977.96	31.647.39	207.685.98
114	29.669.43	1.730.72	31.400.14	178.016.55
115	29.669.43	1.483.47	31.152.90	148.347.13
116	29.669.43	1.236.23	30.905.65	118.677.70
117	29.669.43	988.98	30.658.41	89.008.28
118	29.669.43	741.74	30.411.16	59.338.85
119	29.669.43	494.49	30.163.92	29.669.43
120	29.669.43	247.25	29.916.67	0.00

Elaborado por: El autor.

4.1.5.4. Depreciaciones y amortizaciones

A continuación se consideran las depreciaciones de las maquinarias y equipos del presente proyecto.

Cuadro 33. Depreciación de las maquinarias y equipos del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica

Costos de depreciación	%	2016 [\$]	2017 [\$]	2018 [\$]	2019 [\$]	2020 [\$]	2021 [\$]	2022 [\$]	2023 [\$]	2024 [\$]	2025 [\$]	Valor Residual
Digestores, tanque de alimentación y descarga	5	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	94.842.00	948.411.00
Equipo electromecánico	15	35.775.00	35.775.00	35.775.00	35.775.00	35.775.00	35.775.00	-	-	-	-	23.850.00
Filtro de remoción de H ₂ S	10	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	-
Generador	15	71.250.00	71.250.00	71.250.00	71.250.00	71.250.00	71.250.00	-	-	-	-	47.500.00
Quemador de biogás	10	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	47.500.00	-
Suma de costos por depreciación		296.867.00	296.867.00	296.867.00	296.867.00	296.867.00	296.867.00	189.842.00	189.842.00	189.842.00	189.842.00	1.019.761.00

Elaborado por: El autor.

4.1.5.5. Ingresos

A continuación se muestra el cálculo de los ingresos de acuerdo a la producción de kW a producir con el sistema del biodigestor.

Cuadro 34. Ingresos generados por el sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.

Energía eléctrica	kW/año	\$/kWh	\$/año
Venta de energía eléctrica	17 877 335	0.11	1 966 506 85
Total			1 966 506 85

Elaborado por: El autor.

4.1.5.6. Costos de producción

Entre los costos de producción se ha considerado los valores de los seguros y mantenimiento del biodigestor para la generación de energía eléctrica.

Cuadro 35. Costos de producción del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.

A. Seguros					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor Mensual	Valor Anual
Seguros	2	unidad	2.966.96	5.933.92	71.207.00
Subtotal					71.207.00
B. Mantenimiento					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio	Valor Mensual	Valor Anual
Digestores, tanques de alimentación y descarga	3	unidad	1.896.831.00	158.069.00	56.905.00
Equipo electromecánico	6	unidad	238.500.00	238.500.00	14.310.00
Filtro de Remoción de H ₂ S: 1,05 (m ³ /h)	5	unidad	475.000.00	475.000.00	23.750.00
Generador: 2041 (kW)	10	unidad	475.000.00	475.000.00	47.500.00
Quemador de biogás: 1,05 (m ³ /h)	5	unidad	475.000.00	475.000.00	23.750.00
Subtotal					166.215.00
Imprevistos (8%)					18.993.76
Total					256.415.76

Elaborado por: El autor.

4.1.5.7. Flujo de caja

Para la elaboración del flujo de caja se ha tomado en cuenta los rubros anteriormente mencionados estos han sido proyectados para 10 años que sería la duración del proyecto considerando la tasa de inflación proyectada del país según el Banco Central del Ecuador **(Ver en Anexos)**

Cuadro 36. Flujo de Caja proyectado del sistema del biodigestor para la generación de energía eléctrica.

DESCRIPCIÓN		2.016	2.017	2.018	2.019	2.020	2.021	2.022	2.023	2.024	2.025	
	Ventas	1966506,85	2014456,84	2057314,41	2094688,96	2126231,48	2168118,24	2205409,87	2238049,94	2265577,96	2281210,44	
-	Costos de Producción	256415,76	262668,03	268256,29	273129,62	277242,49	282704,17	287566,68	291822,67	295412,09	297450,43	
=	Utilidad o Pérdida Operacional	1710091,09	1751788,81	1789058,12	1821559,34	1848988,99	1885414,07	1917843,19	1946227,27	1970165,87	1983760,01	
-	Costo financiero	339714,92	304111,61	268508,30	232904,99	197301,68	161698,37	126095,06	90491,75	54888,44	19285,13	
=	Utilidad Neta	1370376,17	1447677,20	1520549,82	1588654,35	1651687,31	1723715,71	1791748,14	1855735,53	1915277,43	1964474,89	
+	Depreciaciones	296867,00	296867,00	296867,00	296867,00	296867,00	296867,00	189842,00	189842,00	189842,00	189842,00	
-	Inversión Inicial	-3560331,00										
-	Inversión de reemplazo							713500,00				
-	Pago deuda	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	339714,92	
=	Flujo de caja proyectado	-3560331,00	1327528,26	1404829,29	1477701,91	1545806,44	1608839,40	1680867,79	928375,22	1705862,61	1765404,52	1814601,97
	Flujo de Caja Acumulado	-2232802,74	-827973,45	649728,45	2195534,89	3804374,29	5485242,07	6413617,30	8119479,91	9884884,42	11699486,39	

Elaborado por: El autor.

4.1.5.8. Tasa de descuento

Antes de realizar el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), se requiere calcular la Tasa de descuento con la cual se descontará el flujo para ello se utilizará la siguiente fórmula.

$$r_e = r_f + \beta(r_m - r_f) + r_{fec}$$

r_e : Rentabilidad exigida del capital propio

r_f : Tasa libre de riesgo

r_m : Tasa de rentabilidad del mercado

r_{fec} : Riesgo país Ecuador

Cuadro 37. Datos para el cálculo de la tasa de descuento.

Indicadores	Valor
Rf= Tasa libre de riesgo	9,60%
B= Beta	1,27
Rm=Rentabilidad del mercado	6,88%
Rfec= Riesgo País	5,63%

Fuentes: Bolsa de Valores de Quito.

Banco Central de Ecuador.

NYU Stern. Valor Betas por Sector Educativo

Elaborado por: El autor.

a) Cálculo de la Tasa de Descuento

$$r_e = 9.60\% + 1.27(6.88\% - 9.60\%) + 5.63\%$$

$$r_e = 9.60\% - 3.45\% + 5.63\%$$

$$r_e = 11.78\%$$

El valor de la Tasa de Descuento para el presente proyecto es de 6.65%.

4.1.5.9. Valor actual neto

El valor actual neto es el procedimiento que permite calcular el valor presente de los 5 periodos de flujos de efectivo futuros, originados por una inversión, en la que consiste en descontar al momento actual, es decir, actualizar mediante la tasa de descuento anteriormente calculada del 11,78%, todos los flujos de caja futuros del proyecto.

El VAN se determinó mediante la siguiente fórmula:

I= inversión

F_{0n}= Flujo de caja de un periodo

i= tasa de oportunidad

n= año

$$\text{VAN} = -I + \frac{F_{0n}}{(1+i)^n}$$

$$\text{VAN} = 4\,497\,412.58 \text{ USD}$$

El VAN del presente proyecto es igual a **4 954 507.01 USD**; por lo tanto es mayor a 0, lo que significa que el proyecto es aceptable.

4.1.5.10. Tasa interna de retorno

El TIR mide rendimientos futuros esperados de la inversión en relación a los 10 periodos del proyecto lo cual incluye la retribución a los recursos del capital invertido, además permite medir la rentabilidad de una inversión, mostrando cuál sería la tasa de Interés más alta a la que el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

$$\text{TIR} = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{(F_t)}{(1 + \text{TIR})^t} - I_0$$

Basado en dicha fórmula se obtiene que el TIR del presente proyecto es de **39.03%**; es decir que el TIR al ser mayor que cero el proyecto se considera factible de realizar.

4.1.5.11. Periodo de recuperación de la inversión

Para el cálculo del período de recuperación de la inversión se utilizaron los datos o flujos acumulados del proyecto y la fórmula de la misma.

Cuadro 38. Flujos acumulados para el cálculo de periodo de recuperación de la inversión.

Años	Descripción	Valor	Saldo
0	Flujo 0	\$ (3.560.331,00)	\$ (3.560.331,00)
1	Flujo 1	\$ 1.327.528,26	\$ (2.232.802,74)
2	Flujo 2	\$ 1.404.829,29	\$ (827.973,45)
3	Flujo 3	\$ 1.477.701,91	\$ 649.728,45
4	Flujo 4	\$ 1.545.806,44	\$ 2.195.534,89
5	Flujo 5	\$ 1.608.839,40	\$ 3.804.374,29
6	Flujo 6	\$ 1.680.867,79	\$ 5.485.242,07
7	Flujo 7	\$ 928.375,22	\$ 6.413.617,30
8	Flujo 8	\$ 1.705.862,61	\$ 8.119.479,91
9	Flujo 9	\$ 1.765.404,52	\$ 9.884.884,42
10	Flujo 10	\$ 1.814.601,97	\$ 11.699.486,39

Elaborado por: El autor.

Para la obtención del período de recuperación de la inversión se procede a la implementación de la siguiente fórmula:

$$PRI = p + \frac{(CF_p)}{CF_p - CF_{p+1}}$$

Donde:

p = Período anterior de que el flujo de efectivo sea positivo

CF_p = Flujo de efectivo acumulado para el período p

CF_{p+1} = Flujo de efectivo acumulado para el período p + 1

Entonces:

$$PRI = 2 + \frac{(-827.973,45)}{-827.973,45 - 649.728,45}$$

$$PRI = 2 + 0.6723738671$$

$$PRI = 2.6723738671$$

Como se puede observar con la fórmula se obtuvo 2.323934817 es decir que en **2 años, 6 meses y 21 días** de actividades del sistema de generación de energía eléctrica, se estaría recuperando la inversión del capital invertido.

4.1.5.12. Relación del costo/beneficio

La relación beneficio costo (RB/C) permite colocar cifras en dólares en los diferentes costos y beneficios del proyecto. Al utilizarlo, podemos estimar el impacto financiero acumulado de lo que queremos lograr.

Se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos (VAN ingresos) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAN egresos).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$RB/C = \frac{VAN \text{ INGRESOS}}{VAN \text{ EGRESOS}}$$

$$RB/C = \frac{\$ 23.568.231,15}{\$ 6.554.681,68}$$

$$RB/C = 3.60$$

Con referencias expuestas la relación RB/C es mayor que 1, indica que el proyecto es rentable. Ya que por cada 1 dólar que se invierte se obtendrá una ganancia de **2,60 ctvs.**

4.2. Discusión

En el presente proyecto se han considerado en primera instancia el establecimiento de parámetros como son la temperatura y su capacidad de retención hidráulica para el biodigestor, ya que de ellos prácticamente depende el funcionamiento del sistema de generación de energía eléctrica utilizando biogás en el presente proyecto concordando con lo que manifiesta (**Bosch Martí, 2011**), que el parámetro se establecerá en función de la temperatura del procedimiento dentro del biodigestor, además de la capacidad temporal para la retención hidráulica.

En cuanto a la simulación mediante software del sistema de generación de energía eléctrica mediante la utilización de biogás, se logró comprobar con los parámetros y condiciones establecidas el funcionamiento de los biodigestores bajo condiciones operativas, de la misma forma que (**SOLIDWORKS, 2011**) manifiesta que a través de la simulación se obtiene una perspectiva real de los resultados en todas las fases del diseño asegurando prácticamente cual será el desempeño de la maquinaria en acción.

En esta investigación se efectuó una entrevista con el Gerente de la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del cantón Quevedo, con el fin de conocer la cantidad de desechos orgánicos producidos en el mismo. En el proceso investigativo se determinó que se puede obtener una excelente producción de biogás, y por tanto una cuantiosa cantidad de energía eléctrica, abasteciendo una demanda energética importante para los habitantes tal como menciona (**R. Quesada, 2007**), quien manifiesta que la utilización del biogás es una posible sustitución de fuentes energéticas perjudiciales con el medioambiente para la obtención de energía eléctrica a través de motores de combustión interna que puede beneficiar a un sin número de individuos.

De manera que se cumple con las hipótesis planteadas, de que la generación de energía eléctrica es adecuada, ante las condiciones establecidas en el cantón

Quevedo, y que su aporte energético contribuye de manera económica al desarrollo productivo del cantón.

CAPÍTULO V.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diseñó un sistema de generación de energía eléctrica utilizando el biogás mediante el Software Biodigestor Pro, en el cual se dimensionaron cada uno de los equipos en función de la cantidad de desechos sólidos producidos en el cantón Quevedo, posteriormente se realizó la simulación de cada sistema utilizando el Software Solidworks, lo que permitió determinar las condiciones apropiadas de funcionamiento del sistema de generación de energía eléctrica.
- Se determinó que el sistema de generación de energía eléctrica necesita de 95180 toneladas de desechos sólidos urbanos, lo cuales permiten generar una potencia de unos 18GWh/año, lo que supondría suministrar energía a un aproximado de 2000 hogares.
- La implementación de una planta de biogás, además de ser muy factible, sería un recurso muy importante para el Cantón Quevedo, específicamente el cantón produce más desechos orgánicos que los demás cantones, y el aprovechamiento de los desechos con una gestión integral manifestaría un desarrollo social, laboral y tecnológico para el Cantón Quevedo.
- Se establecieron parámetros adecuados para el diseño del sistema de generación eléctrica utilizando biogás en función de las condiciones establecidas para el cantón Quevedo, todo esto mediante la simulación en el software “Solidworks”, establecerá que las condiciones técnicas y operativas son apropiadas.
- Se determinó que el proyecto es factible, ya que refleja un VAN de 4.954.507,01 USD; un TIR de 39,03% y un B/C de 3,60 USD por cada dólar invertido. Esta inversión se estaría recuperando un periodo de 2 años, 6 meses y 21 días de las operaciones del sistema.

- Se determinó que las condiciones ambientales son las apropiadas ya que en vista de que el medio de generación de biogás es hermético y sellado, la contaminación es reducida a valores mínimos.

5.2. Recomendaciones

- La suministración del digestor debe realizarse con materia orgánica que recientemente se haya obtenido, por lo que debe realizarse una gestión y distribución de los desechos al tanque de alimentación con desechos provenientes directamente de la fuente, para de esta manera garantizar que el tiempo y cantidad de materia degradada produzca una eficiencia alta en la producción de biogás.
- Se debe controlar los parámetros de presión y temperatura con la finalidad de evitar colapsos en el biodigestor y que posteriormente provoque algún tipo de riesgo contra la seguridad de los operarios del mismo.
- Se recomienda llevar un registro estadístico de la cantidad de biogás producido mensualmente, de manera que se puedan establecer que los resultados de producción estén en el rango normal, y en caso contrario tomar medidas correctivas.
- Se recomienda cumplir con los requisitos de gestión y control de la materia orgánica, de forma que garantice un entorno de producción aceptable.
- Ejecutar proyectos que involucren energías renovables que permitan el desarrollo tecnológico y sustentable del cantón Quevedo e incluso llevarlos a escalas mayores en el País.

CAPÍTULO VI.
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Literatura citada

- Acuña, R. (25 de Febrero de 2010). Biotecnología practica y aplicada. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <https://bioreactorcrc.wordpress.com/category/biotecnologia-practica-y-aplicada/page/2/>
- Alvarez, R., Rieta, V., & Villea, S. (2004). Proyecto 09 CNI – IIDEPROQ. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd48/proyecto09.pdf>
- AquaLimpia. (7 de Noviembre de 2008). Aqualimpia. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de www.aqualimpia.com/PDF/ayuda_bdg.pdf
- Aqualimpia. (2013). Manual practico de biodigestores. Aqualimpia. Obtenido de <http://www.aqualimpia.com/>
- Ayala, R. (2010). Evaluación Financiera de Proyectos de Inversión. Guayaquil: Quinta Edición.
- Baca Urbina, G. (2010). Evaluación de Proyectos. Mexico: McGraw-Hill.
- Baten, M. (28 de Mayo de 2011). Diseño de la investigación para la evaluación de la implementación de un biodigestor para el tratamiento de las aguas residuales de una planta productora de mayonesa ubicada en el municipio de fraijanes. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1296_Q.pdf
- Bayona, J. (2010). e-archivo. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/id//PFC_Javier_Bayona_Villanueva.pdf
- Bernal, C. A. (2006). Metodología de la investigación: para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Biogas - Portal de ingeniería ambiental. (1 de Mayo de 2005). Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://www.ingenieroambiental.com/apunte-biogas.pdf>
- Bioreactorcrc. (7 de Mayo de 2015). Bioconversión y Fermentación Anaeróbica. Obtenido de <https://bioreactorcrc.wordpress.com/author/bioreactorcrc/page/3/>
- Bosch Martí, A. (2011). Estudio de viabilidad de la instalación. Barcelona.
- Byron Alcivar, C. F. (2007). Estudio para el diseño de la implantacion de un sistema de generacion de energia electrica alternativo a partir de desechos biodegradables. Guayaquil.
- Campos, A. (2011). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria

- agroalimentaria. Obtenido de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8229/Tecp1de1.pdf>
- Campos, E., Elias, X., & Floats, X. (2012). Procesos biológicos: la digestión anaerobia y el compostaje. Madrid: Diaz de Santos.
- Carrillo, L. (2003). micagricap5. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://es.scribd.com/doc/201987453/micagricap5>
- Cmapserver. (1 de Octubre de 2002). Obtenido de http://cmapserver.unavarra.es/rid=1295984287323_863288151_4607/BIOMASA%20VEGETAL%20Y%20ENERG%C3%8DA%20RENOVABLE.doc
- Colin, R., Enriquez, J., & Lima, E. (2009). Propuesta para la generación de energía eléctrica a partir de biogas. Mexico D.F.
- Coloma, F. (2010). Evaluación social de proyectos de inversión. Buenos Aires: Editorial Disantes.
- Cordova, M. (1 de Julio de 2013). dspace. Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/2112/1/UDLA-EC-TIAM-2013-07.pdf>
- Corral, A. (2006). Biblioteca de Ingeniería de la Universidad de Sevilla. Obtenido de CALDERA DE BIOMASA: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20088/fichero/PFC_Ariadna+Corral+Sousa%252FCap%EDtulos%252F5_Soluci%F3n+2_Caldera+de+biomasa.pdf
- Cuellar, A. (2010). Evaluación económica de un biodigestor. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de http://fmvzenlinea.fmvz.unam.mx/pluginfile.php/68388/mod_folder/content/0/Evaluacion_economica_de_un_biodigestor_Aspeita_Cuellar_Paulina.pdf
- Decara, L., Sandoval, G., & Funes, C. (2004). El uso de biodigestores en sistemas caprinos de la provincia de Córdoba. Córdoba.
- Díaz, I., & Domínguez, A. B. (2013). Nuevos retos en el tratamiento de residuos. Lifebiogrid, 1(1), 33.
- Díaz, M., Martínez, R., & Rodríguez, M. (1999). Revista Computadorizada de Producción Porcina Vol:6 No:2 1999. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://www.iip.co.cu/RCP/ant/RCP6.2.pdf>
- Franco, E. (8 de Marzo de 2005). monografias. Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de <http://www.monografias.com/trabajos73/fuentes-energia-renovable/fuentes-energia-renovable5.shtml>
- Galindo Ruiz, L. C. (2012). Formulación y Evaluación de Planes de Negocio. Bogotá: Ediciones de la U.

<http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/932/1/LopEZ%20MENDOZA%20CLAUDIA.pdf>

- Madriz, G. A. (2011). valuación de un sistema de digestión anaerobia para la estabilización de los lodos provenientes de las aguas residuales, Corporación PIPASA, San Rafael de Alajuela. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de http://bibliodigital.itcr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/2238/2622/Informe_Final.pdf?sequence=1
- Malhotra, N. (2008). Investigación de Mercado. En Un Enfoque Aplicado. Mexico: Pearson Prentice Hal.
- Matamala, P., Decap, J., & Vidal, G. (2010). Reduccion de sulfato y materia organica contenidos en efluentes de la industria de celulosa kraft. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile15/sulfato29.pdf>
- Moncayo, G. (2005). Manejo Ecologicamente Compatible de las cuencas del Tungurahua. Tungurahua.
- Nogués, F., & Herrer, J. (2002). Generalidades. Ciclo energías renovables jornadas de biomasa, 1(1), 9.
- Ocampo, G. (2010). Factibilidad técnica y económica para el desarrollo de una instalación termoeléctrica de 160 kw mediante la combustión de biogás para la hacienda TARRAGONA. Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de <https://www.repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1237/1/T-ESPE-027511.pdf>
- Oñate, A. (2013). Diseño de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás para su aprovechamiento en el nuevo campus de la ESPE. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6387/1/T-ESPEL-CDT-0986.pdf>
- Orozco, D. (28 de 08 de 2013). CONCEPTODEFINICION.DE. Obtenido de CONCEPTODEFINICION.DE: <http://conceptodefinicion.de/comercializacion/>
- Perez Briceño José Angel, T. G. (2005). Diseño de un biodigestor para una granja. Caracas.
- R. Quesada, N. S. (2007). Generación de energía eléctrica a partir de biogás. Las Mercedes: Earth.
- Ramon Arrue, G. M. (Febrero de 2007). Agronomos. Obtenido de <http://www.agronomos.cl/2007/feb/htm/construccion.htm>
- Reinoso, B. (15 de Octubre de 1997). Diseño de un sistema de tratamiento de residuales de origen animal para fincas familiares en Bayamo, Granma. . Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/790/1/T->

- Rincon, I. (1 de Febrero de 2005). Cinética de la degradación anaerobia termofílica de vinazas de caña. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2503/rinconacelas.pdf>
- Sapag, N. (2011). Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación. Chile: Person Educación.
- SOLIDWORKS. (2011). <http://www.solidworks.es/>. Obtenido de http://www.solidworks.es/launch/documents/SW2014_Datasheet_Simulation_ESP.pdf
- Soluciones Prácticas. (7 de Mayo de 2015). ¿Cuáles son los factores físico químicos que influyen en la producción de biogás? Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://www.solucionespracticas.org.pe/cuales-son-los-factores-fisico-quimicos-que-influyen-en-la-produccion-de-biogas>
- Soria, M. d., Ferrera, R., Etchevers, J., & Alcántar, G. (2001). Produccion de biofertilizantes mediante biodigestion de excreta liquida de cerdo. *redalyc*, 19(4), 3.
- Sosa, J., & Laines, J. (2010). Digestores anaerobios: una alternativa para el tratamiento de residuos orgánicos y producción de biogás. *DIVULGACIÓN*, 1(1), 11.
- Tapia, J. (2010). Energías Renovables 2. Guanajuato.
- Textos Científicos.com. (2 de Diciembre de 2005). FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE GAS. Recuperado el 8 de Noviembre de 2014, de <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/factores>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2003). Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf
- Universidad Autónoma de México. (2012). Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería- UNAM. Obtenido de Universidad Autónoma de México: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/768/A5.pdf>
- Universidad César Vallejo. (2009). ucvirtual. Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de http://ucvvirtual.edu.pe/campus/HDVirtual/700426354/Teor%C3%ADa/700001834/TecNoAI_05.pdf
- Universitat de Lleida. (1 de Marzo de 2003). pH y alcalinidad. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://web.udl.es/usuarios/r5213847/pH.html>

Universitat de Lleida. (1 de Marzo de 2003). Tóxicos e inhibidores. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de <http://web.udl.es/usuaris/r5213847/toxicidad.html>

Universitat de Lleida. (2010). Temperatura. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://www.udl.es/usuaris/r5213847/temperatura.html>

Urbáez, C. L., & Carballo, L. (16 de Agosto de 2007). Biomasa: alternativa sustentable para la producción de Biogás. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de <http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa2.shtml>

Varnero, M. (2011). Manual de biogás. Recuperado el 11 de Noviembre de 2014, de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2BE13235AE64D19A05257CFC0076B54E/\\$FILE/as400s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2BE13235AE64D19A05257CFC0076B54E/$FILE/as400s.pdf)

CAPÍTULO VII.

ANEXOS

Anexo 1. Entrevista al Gerente de la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental



ENTREVISTA DIRIGIDA AL GERENTE DE EMPRESA MUNICIPAL DE ASEO Y GESTIÓN AMBIENTAL

1. ¿Cuáles son los servicios que realiza la Empresa Municipal de Aseo y Gestión Ambiental del cantón Quevedo?

2. ¿Con qué frecuencia se realizar la recolección de los desechos y residuos sólidos del cantón?

3. ¿Uds. clasifican los desechos y residuos sólidos del cantón?

4. ¿Se llevan datos estadísticos con respecto a las toneladas recolectadas de cada uno de los tipos de desechos?

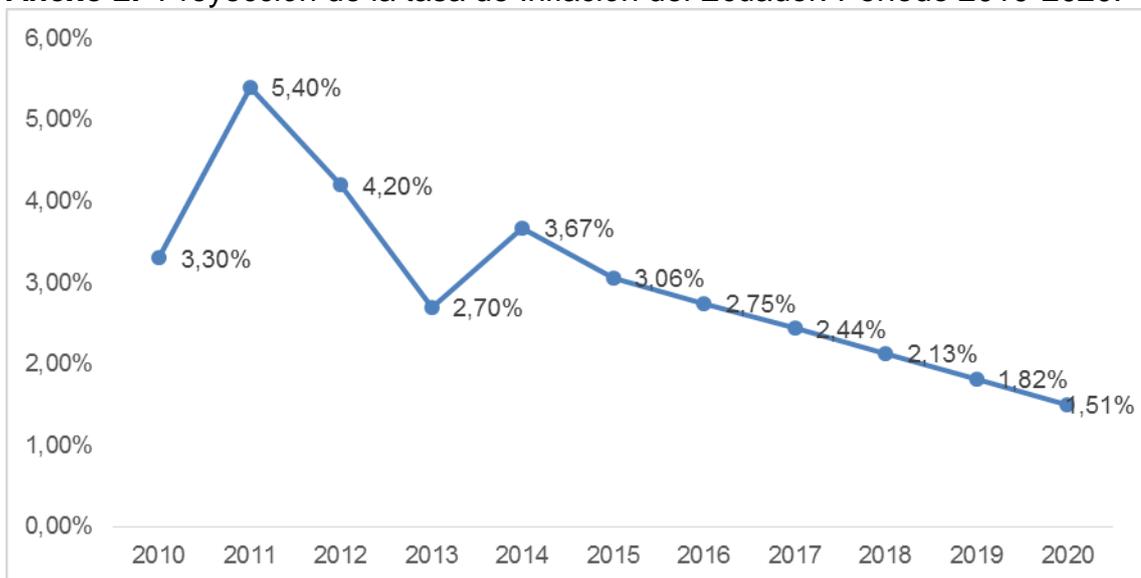
5. ¿Cuántas toneladas de desechos sólidos generó el cantón Quevedo el año pasado?

6. ¿Actualmente se han elaborado proyectos para la eliminación o reutilización de los desechos recolectados?

7. ¿Considera que se podría implementar un proyecto que elimine los desechos orgánicos para producir energía eléctrica de forma renovable?

8. ¿Le gustaría que se desarrolle un sistema de generación de energía eléctrica a través de un biodigestor?

Anexo 2. Proyección de la tasa de Inflación del Ecuador. Período 2010-2020.



Fuente: Banco Central del Ecuador.

Elaborado por: El autor