



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Leonidas Antonio Quiroz Erazo, con el título de tesis: **“Potencialidad De La Producción De Biogás A Partir De La Excreta Animal En La Florícola VIBRAFLOWERS 2013. Propuesta Del Diseño Tecnológico De Un Mezclador Para Aprovechar El Metano En Motores De Combustión Interna”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga noviembre 2013

Para constancia firman:

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
PRESIDENTE

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
MIEMBRO

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
PROFESIONAL EXTERNO

.....
NOMBRES Y APELLIDOS
OPOSITOR

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Noviembre del 2013

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Quiroz Erazo Leonidas Antonio, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“Potencialidad De La Producción De Biogás A Partir De La Excreta Animal En La Florícola VIBRAFLOWERS 2013. Propuesta Del Diseño Tecnológico De Un Mezclador Para Aprovechar El Metano En Motores De Combustión Interna”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

MSc. Eduardo Terrero Matos.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, Leonidas Antonio Quiroz Erazo, portador del número de cédula 0502509995, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

Leonidas Antonio Quiroz Erazo
C. I. 0502509995

AGRADECIMIENTO

No puedo parar de trabajar.
Tendré toda la eternidad para descansar.
Madre Teresa De Calcuta

Inmensamente agradecido contigo mi Dios, porque manipulaste esta tesis para examinar mi paciencia y para darme cuenta de mi capacidad para realizar las cosas que me planteo, no dejes de seguir afanando y formando mi vida Señor.

Gracias Mónica Elizabeth, por tu apoyo incondicional y ayuda a pesar de todo, para culminar con éxito este trabajo, ya que eres el complemento ideal, a mis hijos Josselyn y Leonidas, por permitirme su valioso tiempo que a Uds. les correspondía, además de que comparten conmigo los instantes de felicidad de mi existencia.

Así mismo también quiero expresar a mi padre José, madre Narcisa y hermanos José, Carlos y Erika, el reconocimiento merecido, por alentar y ofrecer su apoyo durante la obtención de este propósito y en todo obstáculo que he tenido en mi vida.

A las personas que ayudaron de una u otra manera, para culminar la tesis, así la contribución científica de mi tutor MSc. Eduardo Terrero Matos, en la reseña de nociones y construcción de directrices para la finalización de este proyecto, Dios les bendiga.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a través de su cuerpo directivo, docente y administrativo por su profesionalismo y don de gente.

Noni

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, quien me ha dado el privilegio de la vida, en la que tengo la oportunidad y orgullo de gozar de una familia encantadora.

Dedico este logro a mi esposa Mónica Lucas, a mis hijos Josselyn Quiroz y Leonidas Quiroz, a mis padres José Quiroz y Narcisa Erazo y mis hermanos José Quiroz, Carlos Quiroz y Erika Quiroz, pues sin su cariño, energía y apoyo cotidiano, no hubiera logrado culminar este proyecto; gracias por todo les quiero mucho.

A mis Abuelitas Hilda Laverde y Rosa Holguin que con su ejemplo, lecciones y entrega diaria me motivaron a ser cada día mejor y a esforzarme para lograr los objetivos y metas trazados gracias por todo y que formen parte de mi vida.

A mis tíos, primos, y demás familiares, pues el viento podrá llevarse muchas palabras pero todo lo que Uds. me han aconsejado estará instalado para siempre en mi alma sin que el viento lo haga desaparecer.

Noni

**CERTIFICACIÓN DE CÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”

“Potencialidad De La Producción De Biogás A Partir De La Excreta Animal En La
Florícola VIBRAFLOWERS 2013. Propuesta Del Diseño Tecnológico De Un
Mezclador Para Aprovechar El Metano En Motores De Combustión Interna.”

Autor: Leonidas Antonio Quiroz Erazo

Fecha: Noviembre del 2013

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO: Potencialidad De La Producción De Biogás A Partir De La Excreta Animal En La Florícola VIBRAFLOWERS 2013. Propuesta Del Diseño Tecnológico De Un Mezclador Para Aprovechar El Metano En Motores De Combustión Interna.

AUTOR: QUIROZ ERAZO Leonidas Antonio.

TUTOR: MSc. Eduardo Terrero Matos.

RESUMEN

El presente trabajo se realiza la fundamentación teórica de la potencialidad de producción de biogás a partir de la excreta animal en la Florícola VIBRAFLOWERS y aprovechamiento del metano que se podría generar mediante el diseño de un mezclador en el motor de combustión interna, para aprovechar la biomasa generada por sus actividades ganaderas en la florícola en: producción de energía eléctrica, limpieza del ganado, etc., una alternativa energética eficiente, reduciendo de este modo la contaminación ambiental generada por la biomasa o metano sin combustionar. La investigación de campo y bibliográfica evidencio la poca explotación de este tipo de energía para labores diarias del lugar. Mostrando datos técnicos y económicos de utilidad para la propuesta del diseño tecnológico de un mezclador para aprovechar el metano en motores de combustión interna como alternativa energética. Se inicia del estudio experimental, donde se determina el potencial de la generación de excreta producto de sus actividades cotidianas, de tal forma que se realiza la evaluación de la biomasa para la producción de biogás en la florícola, con la intención de aportar con procedimientos que disminuyan la huella ambiental negativa, se procede al diseño del mezclador considerando algunas variables tanto ambientales como mecánicas, además se correlaciona los datos obtenidos con el análisis de las incidencias preponderantes como velocidad, presión y relación de mezcla combustible gaseoso y aire en software de simulación en los programas ANSYS y SOLIDWORKS, donde se consideran los materiales de manufactura de tal manera de obtener parámetros de funcionamiento cercanos a la realidad, dotando de fiabilidad a la investigación, así como la construcción y ejecución de pruebas de la funcionalidad del mezclador para su instalación en el motor de combustión interna.

Descriptor: biomasa, biogás, energías, mezclador, motor de combustión interna, eficiencia energética, biogás.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO: "Potential for biogas production from animal manure at “VIBRAFLOWERS” flower greenhouse 2013. Motion design technology a mixer for making the methane in internal combustion engines".

AUTOR: QUIROZ ERAZO Leonidas Antonio.

TUTOR: MSc. Eduardo Terrero Matos.

ABSTRACT

This study is based on the theoretical basis of the potential of biogas production from animal excreta at “VIBRAFLOWERS” flower greenhouse and use of methane that could be generated by designing a mixer in the internal combustion engine to take advantage of the biomass generated by their livestock activities in the flower greenhouse in production of electricity, cleanliness of cattle, etc. It is an alternative and efficient energy which reduces the environmental pollution generated by the biomass or unburned methane. The field research and literature evidenced the little exploitation of this energy for daily work place. Showing technical and economic useful data for the technical design proposed a mixer to get methane in internal combustion engines as an alternative energy. It starts from an experimental study where is determined the potential for the generation excreted product of its daily activities, so that the evaluation of biomass for biogas production in the flower greenhouse is made with the intention of providing with procedures that decrease the negative environmental footprint, the mixer was designed considering both environmental and mechanical variables, besides it is correlated the obtained data with the analysis of the predominant incidence such as speed, pressure and relation of gaseous fuel and air mixture into simulation on the software ANSYS and SOLIDWORKS programs, where they are considered the manufacturing materials and in this way to obtain parameters of working almost close to the reality, providing reliability to the research operation and construction and test execution functionality of the mixer for its installation in the internal combustion engine.

Descriptors: biomass, biogas, energy, mixer, internal combustion engine, energy efficiency, biogas

Firma de aval: _____

Índice

Contenidos	Páginas
PORTADA	i
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS	iii
AUTORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	viii
ABSTRAC	ix
INTRODUCCION	1
Capítulo I: EL PROBLEMA	
1.1. Antecedentes del problema	2
1.2. Formulación del Problema	5
1.3. Objeto de estudio	5
1.4. Campo de acción	5
1.5. Justificación de la Investigación	5
1.6. Objetivos	8
1.6.1. Objetivo General	8
1.6.2- Objetivos Específicos	8
1.7. Hipótesis	9
1.8. Conclusiones del capítulo	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes	10
2.2. Fundamentación Teórica	11

2.2.1. Biodigestor	11
2.2.2. Diseño del biodigestor	12
2.2.3. Volumen de metano producido	14
2.2.4. Volumen del biodigestor	14
2.2.5 Volumen real del biodigestor y campana	15
2.2.6. Cálculo de la presión hidrostática en el interior del tanque	16
2.2.7 Volumen liquido diario VDL	16
2.2.8. Producción de biogás diario (PB/ Día)	17
2.3. Biogás	17
2.3.1. Composición del biogás	18
2.4. Biomasa	19
2.5. Aprovechamiento de la Biomasa en Ecuador	22
2.6. Biogás como fuente de energía	22
2.7. Etapas intervinientes	25
2.7.1. Primera etapa llamada periodo de licuefacción	25
2.7.2. Segunda etapa llamada periodo de acidogénesis	25
2.7.3. Tercera etapa conocida como periodo productor de metano	26
2.8. Los motores de combustión interna	28
2.8.1. El Biogás Como Combustible En M.C.I	31
2.8.2. Componentes Del Sistema De Alimentación De Biogás En M.C.I	31
2.8.3. Funcionamiento del sistema	32
2.8.4. Regulador-dosificador	33
2.9. Mezclador	33
2.9.1. Funcionamiento del mezclador	37
2.10. Diseño mezclador según LOVATO	37

2.11. Cálculos y dimensionamiento del mezclador	39
2.11.1. Flujo de aire a lo largo del conducto de entrada	39
2.11.2. Comprobación de cálculo de velocidades	42
2.11.3. Calculo de la presión atmosférica tenemos	43
2.12. Marco legal vigente	45
2.13. Definición de Términos Básicos	48
2.14. Conclusión del capítulo	51
CAPITULO III: METODOLOGÍA	
3.1-Diseño de la investigación	53
3.2. Modalidad de la investigación	53
3.3. Metodología (experimental o no experimental)	54
3.4. Unidad de Estudio (población y muestra)	54
3.4.1. Tipo de materia prima	55
3.5. Métodos y técnicas a ser empleadas	58
3.5.1. Observación Directa	58
3.6. Operacionalización de las variables	59
CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
4.1. Análisis para el diseño del prototipo de digestor	61
4.1.1. Antecedentes	61
4.2. Diseño del digestor y sus componentes	61
4.2.1. Cálculo de volumen de metano producido en función de cantidad de excreta	62
4.2.2. Volumen de metano producido	63
4.3. Volumen del biodigestor (VD)	64
4.4. Volumen real del biodigestor y campana	64

4.5. Dimensionamiento del biodigestor	64
4.6. Cálculo de la presión hidrostática en el interior del tanque	65
4.7. Volumen liquido diario VLD	66
4.8. Volumen liquido (VL)	66
4.9. Producción de biogás diario (PB/ Día)	67
4.10. Conclusión del capítulo	68
CAPITULO V: LA PROPUESTA	
5.1- Título de la propuesta	69
5.2- Justificación de la propuesta	69
5.3- Objetivos de la propuesta	69
5.4- Estructura de la propuesta	70
5.5- Desarrollo de la propuesta	70
5.6. Dimensionamiento del mezclador	72
5.6.1. Comprobación de cálculo de velocidades	72
5.6.2. Cálculo de la presión atmosférica tenemos	73
5.6.3. Área del conducto en el difusor:	73
5.6.4. Comprobación	73
5.6.5. Salida del flujo de gas	73
5.7. Resumen de cálculos finales del mezclador fijo y variable	77
5.8. REQUISITOS DE UN MEZCLADOR	78
5.9 Propiedades de diseño	79
5.10 Simulaciones de diseño	81
5.10.1 Velocidad del mezclador variable	81
5.10.2 Presión	82
5.10.3 Mezclador fijo	82

5.10.4 Velocidad	83
5.10.5 Presión	83
5.11 Construcción de mezclador	84
5.12. Diagrama de procesos para la fabricación de un mezclador	84
5.13. Análisis gráfico del mezclador	86
5.13.1 Análisis de la fracción del flujo de combustible mezclador de venturi fijo	86
5.13.2. Análisis De La Fracción Del Flujo De Combustible Mezclador De Venturi Variable	87
5.13.3. Sector de salida de mezcla del mezclador	88
5.13.4. Presiones del mezclador sector de entrada y salida del venturi fijo	88
5.13.5. Análisis de fracciones de volumen entre aire y combustible en la salida del mezclador de venturi variable	89
5.14. Conclusiones del capítulo	90
CONCLUSIONES GENERALES	91
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	96
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1.1. Localización geográfica del lugar de investigación	2
Figura 1.2. Macro - localización de la parroquia	6
Figura 2.1. Biodegradación de la materia orgánica	17
Figura 2.2. Fuentes de biomas	21
Figura 2.3. Procesos de conversión de la biomasa en energía	23
Figura 2.4. Motor de combustión interna Toyota 5R	29
Figura 2.5. Esquema del sistema de alimentación de biogás	32

Figura 2.6. Esquema y dimensiones del mezclador de biogás	34
Figura 2.7. Mezclador de chapa superior	36
Figura 2.8. Mezclador bajo chapa	36
Figura 2.9. Montaje de un sistema mixto	37
Figura 2.10. Esquema del carburador Elemental	39
Figura 2.11. Diagrama del carburador Elemental	40
Figura 2.12. Sistema de Alimentación del Motor	41
Figura 2.13. Flujo de Aire a Través del Difusor	43
Figura 2.14. Variación de coeficiente en función de la relación l/d	45
Figura 4.1. Ensamble del prototipo del biodigestor	65
Figura 5.5. Simulación de velocidad de flujo mezclador variable	81
Figura 5.6. Simulación de presión de flujo mezclador variable	82
Figura 5.7. Simulación de velocidad de flujo mezclador	82
Figura 5.8. Simulación de velocidad de flujo mezclador fijo	83
Figura 5.9. Simulación de presión de flujo mezclador fijo	83
Figura 5.10. Procedimiento de construcción	84
Figura 5.20. Diagrama de procesos para el diseño del mezclador	85
Figura 5.21. Diagrama de procesos para la fabricación de un mezcladores	86
Figura 5.22. Flujo de combustible mezclador venturi fijo	86
Figura 5.23. Flujo de combustible mezclador venturi variable	87
Figura 5.24. Salida de flujo mezclador	88
Figura 5.25. Presiones del mezclador	88
Figura 5.26. Volumen aire y combustible	89

ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 2.1. Relación estiércol-agua	15
Tabla 2.2. Principales componentes del biogás	18
Tabla 2.5. Composición química del biogás según la fuente de obtención	27
Tabla 2.6. Propiedades metano	27
Tabla 2.7. Variable de días y temperatura	27
Tabla 2.8. Equivalencias energéticas	28
Tabla 2.9. Ventajas y Desventajas Biogás	28
Tabla 2.10. Características del mezclador	34
Tabla 3.1. Producción de estiércol por especie	56
Tabla 3.2. Tiempo de retención y materia prima	56
Tabla 3.3. Mezcla para la producción del biogás	57
Tabla 3.4. Peso de referencia	57
Tabla 3.5. Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca)	57
Tabla 3.6. Salinidad y reacción del medio en estiércoles de diferentes animales domésticos	58
Tabla 3.7. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de bovinos	58
Tabla 3.8. Control del peso de las reses al 03 de agosto del 2012	59
Tabla 3.9. Operacionalización de las variables	59
Tabla 4.1. Estiércol promedio en Kg por cada 1000Kg de peso	62
Tabla 4.2. Promedio de sólidos totales	62
Tabla 4.3. Promedio de sólidos volátiles	63
Tabla 4.4. Potencial de producción de metano de varios residuos.....	63
Tabla 4.5. Crecimiento de metano por día.....	63

Tabla 4.6. Descomposición de los sólidos volátiles	63
Tabla 4.7. Volumen de metano	63
Tabla 4.8. Relación estiércol-agua	64
Tabla 4.9. Datos de la masa de líquido del sustrato	66
Tabla 4.10. Datos obtenidos de la presión hidrostática	66
Tabla 4.11. Datos obtenidos para Análisis de potencial de energía	67
Tabla 4.12. Resumen de cálculos de dimensionamiento	67
Tabla 5.1. Desglose de los costos fijos para la construcción prototipo biodigestor	70
Tabla 5.2. Desglose de los costos fijos para la construcción del mezclador	71
Tabla 5.3. Costo de mano de obra para la construcción del mezclador	71
Tabla 5.4. Personal involucrado con su grado de responsabilidad	71
Tabla 5.5. Cálculos finales del mezclador fijo y variable	77
Tabla 5.6. Características del material del mezclador	79

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como propósito determinar la potencialidad de la biomasa de la florícola VIBRAFLOWERS de la ciudad de Latacunga como fuente de energía para el uso en motores de combustión interna proponiendo la adaptación de un mezclador en el sistema de alimentación de tal forma de aprovechar eficientemente la energía de la biomasa de los bovinos. La estructura de la tesis, los capítulos, están organizados de la siguiente manera:

En el Capítulo 1, se analiza el Problema de Investigación, se realiza la contextualización a niveles macro, meso y micro; se determina el objeto y campo de la investigación, la justificación y se enuncian los objetivos.

En el Capítulo 2, evalúa el marco teórico, antecedentes de la investigación con los que se relatan informes y esclarecimientos de la problemática planteada en el presente trabajo; además, la conceptualización y los fundamentos en los que se definen los lineamientos teóricos adecuados, concerniente con el aprovechamiento energético eficiente de la biomasa como carburante (biogás).

En el Capítulo 3, se desarrolla la metodología para la realización de la investigación: el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar.

En el Capítulo 4, se analiza e interpreta los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación. Las derivaciones se orientarán a detallar los cálculos para el diseño de prototipo de digestor que se adapte a las condiciones del lugar como son: el espacio y la potencialidad de producción de biogás que está en directa dependencia del número de ganado existente y su peso.

En el Capítulo 5, se plantea la propuesta, diseño tecnológico de un mezclador para aprovechar el metano en motores de combustión interna, eficientemente el biogás generado de la biomasa de las reses de la florícola, su buen uso y cuidado. Finalmente se formulan las conclusiones y recomendaciones pertinentes basadas en los resultados de la investigación.

La investigación abordó la problemática del no aprovechamiento de la biomasa de la florícola como combustible alternativo en motores de combustión interna desde la perspectiva del buen vivir comunitario y la conservación de los recursos naturales de la zona rural de Latacunga.

“Entre los recursos energéticos renovables, se cuenta con una fuente de energía como el biogás que se produce por la degradación anaeróbica de la biomasa” (Alvarez, “Producción anaeróbica de biogás”, 2004, pág. 21). A partir de este hecho, se puede decir que el sector agroindustrial tiene en sus desechos una gran fuente de recursos energéticos. Una correcta gestión de estos desechos puede llegar a generar grandes beneficios ambientales, sociales y económicos.

En las primeras observaciones se pudo verificar las condiciones que presentaba el lugar y se realizó una inspección a la zona de influencia, referentes al medio se ejecutan actividades que ponen en riesgo el medio ambiente por no utilizar apropiadamente la biomasa generada de sus labores agrarias, pues la situaciones no son las más favorables en el uso.

De tal manera que se socializó la manera de utilizar esta biomasa como fuente de energía generando un combustible gaseoso producido a partir de descomposición anaerobia de la materia en un digestor obteniendo biogás y la propuesta de diseño de un mezclador para utilizar dicho carburante en un motor de combustión interna para diferentes aplicaciones como la generación de energía eléctrica ente otras en la florícola VIBRAFLAWORS u otras fincas y haciendas similares del sector o del país. Los propietarios y trabajadores manifestaron su interés en la investigación evidenciando una actitud objetiva con razón a la realización de este proyecto.

El análisis costo beneficio se le realizará tomando como base una de las posibles aplicaciones energéticas que se le dé al proyecto, para nuestro caso será la disminución del uso del Gas Licuado de petróleo en actividades de limpieza del ganado y la generación de energía eléctrica. El proyecto funcionaría sin destruir la naturaleza únicamente utilizando la biomasa producto de sus labores agrícolas – ganaderas.

Concebiremos por aprovechamiento de la bio – energía a la que se alcanza a partir de los combustibles que se obtienen de la biomasa. No obstante la expresión es relativamente nueva, los materiales de la biomasa se manejan como fuente de energía desde rudimentos de las civilizaciones.

El progreso de la población se relaciona al uso de diferentes tipos de combustibles aprovechando las bondades que brindan los diferentes espacios de la tierra, así pues debido a la creciente demanda en la búsqueda de combustibles alternativos para generación de energía mecánica barata y amigable al medio ambiente, se ha optado por investigar y desarrollar el uso de biogás natural, procedente de la descomposición del estiércol de ganado vacuno como combustible para el encendido de un motor de combustión interna y otras actividades domésticas e industriales.

Desde el punto de vista teórico, se obtiene una fuente de información valiosa sobre el uso de biocombustibles su generación y sus diversas aplicaciones.

Desde el punto de vista práctico, se prevé utilizar el biogás como combustible alternativo de bajo costo y poco impacto ambiental, capaz de ser utilizado para el encendido en un motor de combustión interna.

Se trató lo relacionado con el aprovechamiento de la biomasa producto de labores agrarias determinando la potencialidad de la producción de biogás a partir de la excreta animal; con el objeto de determinar el volumen de producción diario de biogás con la cantidad de (kg) de biomasa que se utilice y su posterior uso en un motor de combustión interna a quemarse con la adaptación de un mezclador que favorezca la relación de la composición estequiometrica aire - combustible. La debilidad más notoria, personal y poblacional, es el desconocimiento de la utilización de esta materia orgánica y las técnicas y consideraciones esenciales para la obtención y mejor producción del metano natural.

En la investigación se propone, a través de la eficiencia energética disminuir la huella negativa al medio ambiente al no utilizar la biomasa o no combustionar el biogás efecto de la descomposición hacia la atmosfera.

Los beneficios del uso energético de la biomasa, que se manipule una vez fija la precisión de la misma, consiguiendo como efecto una invitación innovadora del conocimiento.

La presente investigación concibe la utilización de biogás como potencial de energía, para diferentes actividades del lugar, centralizaremos la investigación en el diseño y eficiencia de un mezclador para el sistema de alimentación de un motor de combustión interna TOYOTA 5R, iniciando con las características energéticas de la excreta del sitio cuyos resultados contribuirán al diseño variadas situaciones que optimizarán los procesos de combustión en un motor y que su impacto ambiental sea mínimo basándose en el uso adecuado de materiales de construcción del mezclador que mejoren el diseño y que sean fáciles de conseguir en el mercado industrial de la región central.

1.2- Formulación del Problema

Desaprovechamiento de la potencialidad de la biomasa de la excreta animal para la generación de un biocombustible en la FLORICOLA VIBRAFLOWERS.

1.3- Objeto de estudio

Fuente de energía alternativa a partir de la excreta animal en la florícola VIBRAFLOWERS 2013.

1.4- Campo de acción

Potencial de la producción de biogás en la florícola VIBRAFLOWERS.

1.5- Justificación de la Investigación

Los altos costos de generación de energía eléctrica utilizando combustibles convencionales derivados de materiales fósiles, los costos crecientes del abastecimiento de petróleo, la contaminación ambiental por su uso, sumado al costo que involucra su obtención y su carácter finito, cuya extinción está prevista para este siglo, generan la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, para la generación de energía eléctrica.

El biogás constituye una abundante y barata fuente de energía de fácil obtención a partir de desechos animales, vegetales e industriales. Esta energía puede ser

utilizada en numerosos procesos que tienen incidencia en la economía, no solo por la generación de energía sino también por la producción de biofertilizantes de alta calidad.

La florícola VIBRAFLOWERS genera una carga orgánica producto de labores complementarias a su razón social como lo es la ganadería. La generación de efluentes es del orden de 30 kg/día. La planta ubicada en el kilómetro 10 vía Latacunga – Ambato cuenta con un sistema de tratamiento de estos efluentes poco técnico y bajo aprovechamiento.

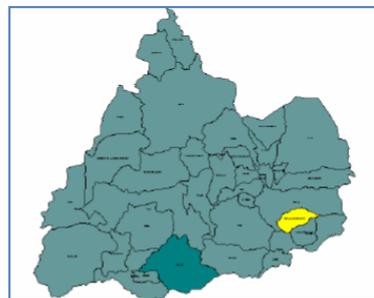


Figura 1.2. Macro - localización de la parroquia.

Fuente: Junta Parroquial Belisario Quevedo.

De ahí que, el uso del biogás en motores de combustión interna con el aprovechamiento de los desechos orgánicos como materia prima para la producción de este combustible alternativo tiene gran relevancia, ya que proviene de elementos naturales y de ciclo corto para la recuperación natural ambiental, los cuales no contienen azufre, monóxido de carbono y contamina mucho menos que otros.

Como carburante de uso doméstico e industrial es más ecológico que los tradicionales, pues no genera monóxido de carbono que es el causante del efecto invernadero, al contrario que si no es combustionado genera 10 veces más contaminación que la gasolina que es un derivado del petróleo.

Aprovechar energéticamente en el Ecuador el potencial de la biomasa en sitios especialmente agrícolas y ganaderos, con el uso en motores de combustión interna que utilicen combustibles fósiles, pues de no ser utilizados generarían una contaminación ambiental, en tal virtud se propone considerar la potencialidad de

la producción de biogás a partir de la excreta animal en la FLORICOLA VIBRAFLOWERS 2013 y propuesta del diseño tecnológico de un mezclador para aprovechar el metano en motores de combustión interna.

Mediante mediciones el control de parámetros referentes a combustibles alternativos se determinará la potencialidad de la biomas de la florícola VIBRAFLOWERS para la producción de biogás, teorías que sustenten su uso.

En este contexto, la investigación desarrollará tecnologías para los motores de combustión interna mediante el diseño de un mezclador para el sistema de alimentación, proporcionado una mayor eficiencia de este tipo de combustibles como una opción de intervención y atenuación al calentamiento global.

Se generaran requerimientos mínimos de este tipo de combustibles, así como el prototipo de un mezclador bajo parámetros técnicos requeridos para su uso en motores de combustión interna de manera de establecer metodologías adecuadas.

Con la investigación se creará un precedente para el uso de este tipo de tecnología en motores alimentados con biogás instituyendo una expansión al uso de este bio – combustible en miras de que la población y la sociedad en general conozcan las ventajas económicas y ambientales que se generaría.

Es factible de realizar ya que en el país se cuenta con varios sectores agrícolas y ganaderos que no están explotando los desechos orgánicos como materia prima para la generación de biocombustibles especialmente el biogás como carburante de uso automotriz, así como también existen entidades de educación superior que podrían participar en este tipo de proyectos generando vinculación con la colectividad mediante la investigación de sus egresados a nivel pre y post grado realizando pruebas en sus laboratorios del real beneficio de este tipo de energía renovable haciendo mediciones en bancos de pruebas.

La investigación es de relevancia socioeconómica es una manera de colaborar con problemas de la sociedad en tal virtud el empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no solo para el propietario de la instalación de

aprovechamiento, sino también para la sociedad. En el primer caso, las ventajas son fundamentalmente económicas ya que se reducen los costos energéticos. En el segundo caso, el uso de la biomasa presenta, al igual que ocurre con otras energías renovables, numerosas ventajas medioambientales y socioeconómicas.

Los digestores cumplen la función ecológica de reciclar totalmente los desechos orgánicos generados en las industrias a bajo costo, consiguiendo también la protección del suelo (al producir abonos de gran calidad), del agua (al evitar verter residuos orgánicos), del aire y la atmósfera (al reducir las emisiones de CH₄ (metano) y monóxido de carbono (CO₂), reduciéndose así el efecto invernadero).

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Evaluar la potencialidad de la producción de biogás en la florícola VIBRAFLOWERS.

Diseñar tecnológicamente un mezclador para el aprovechamiento eficiente del metano en motores de combustión interna.

1.6.2- Objetivos Específicos:

1. Determinar la potencialidad de biomasa de origen animal en la FLORICOLA VIBRAFLOWERS.
2. Seleccionar un prototipo de biodigestor que proporcione la producción de biogás de acuerdo a la potencialidad de biomasa y posibilidad constructiva
3. Determinar los parámetros tecnológicos de diseño del mezclador en el sistema de alimentación del motor de combustión interna utilizando como energía el metano.
4. Validar la propuesta del diseño tecnológico del mezclador mediante la simulación de la funcionalidad de acuerdo a las condiciones de operación del motor de combustión interna Toyota 5R.

5. Establecer la eficiencia energética y sustentabilidad del biogás a ser utilizado en el sistema de alimentación del motor TOYOTA 5R.

1.7. Hipótesis

La evaluación de la biomasa de la excreta animal en la FLORICOLA VIBRAFLOWERS y la propuesta del diseño tecnológico de un mezclador para un motor de combustión interna, permitirá el aprovechamiento de su potencial energético

1.8. Conclusiones del capítulo

- Se fijaron los puntos trascendentales de la naturaleza y del diseño de la investigación, reconociendo las líneas fundamentales de labor para la progreso de la tesis.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

El capítulo II valora el marco teórico, antecedentes de la investigación con los que se relatan informes y esclarecimientos de la problemática planteada en el presente trabajo; además, la conceptualización y los fundamentos en los que se definen los lineamientos teóricos adecuados.

2.1. Antecedentes

“Entre los recursos energéticos renovables, se cuenta con una fuente de energía como el biogás que se produce por la degradación anaeróbica de la biomasa” (Álvarez, “Producción anaeróbica de biogás”, 2004, pág. 21). A partir de este hecho, se puede decir que el sector agroindustrial tiene en sus desechos una gran fuente de recursos energéticos. Una correcta gestión de estos desechos puede llegar a generar grandes beneficios ambientales, sociales y económicos.

Las políticas nacionales el apoyo al uso de bio-combustibles por medio del Decreto Ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, 15 Diciembre 2004. En él se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de bio-carburantes como componentes de los combustibles que se consumen en el país. El Decreto Ejecutivo No. 146, R. O. No. 39, 12 de marzo de 2007, se crea el Consejo Nacional de Biocombustibles, además serán quienes establecerán políticas y mecanismos de apoyo preferencial a los sectores agrícola y agro industrial, especialmente a los pequeños productores, y regulará el precio del biocombustible de que se trate.

Art. 15, en lo referente a los derechos de Buen Vivir hace mención que; El Estado promoverá en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria ni afectará al derecho al agua. Y

Art. 413 El estado promoverá la eficiencia energética el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derechos al agua.

La implementación nuevas formas de energía alternativas basadas en materias orgánicas para la producción de biogasolina, biodiesel, biogás entre otras para la utilización en motores de combustión para diferentes aplicaciones como son en automóviles y generación de electricidad con el fin de suceder los efectos contaminantes, en materia de combustibles, esto a través de combustibles no convencionales como lo son los fósiles.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Biodigestor

Un Biodigestor también conocido como planta de tratamiento anaeróbico, es un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este sistema optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando, después de las reacciones químicas específicas, como subproducto gas combustible y un efluente líquido que es un biofertilizante.

La construcción de las plantas de biogás debe estar sustentadas en una profunda caracterización de los aspectos fundamentales que inciden en la correcta selección, diseño y explotación de estas tecnologías

Según Moncayo, “Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás”, 2008, pág. pg. 53 la digestión anaeróbica es un proceso muy complejo desde el punto de vista microbiológico, debemos entender que un biodigestor es un organismo vivo, con bacterias tan sensibles en su interior que pueden reaccionar negativamente ante cualquier variación del proceso como errores en la carga de la biomasa, choque térmico, variación en el pH.

Los biodigestores por sus características constructivas y por su bajo costo son una alternativa para integrar las excretas y otros residuos orgánicos a los sistemas de producción de biogás “JOSÉ MARTÍ HERRERO, Biodigestores, guía de diseño y manual de instalación, Bolivia 2009”, ya que normalmente éstos se pierden, se mal utilizan o se convierten en contaminantes del medio ambiente y, por consiguiente, en un peligro para la salud de las plantas, animales y del mismo hombre. En el siglo 21 la utilización de biodigestores en países desarrollados es un factor común, los

países europeos han apostado a los biodigestores y el aprovechamiento de desechos y cultivos energéticos para producción de biogás, en Alemania se posee una ley que incentiva a los agricultores para la construcción de biodigestores a través de bonos y rebajas en los impuestos, pero en los países en vías de desarrollo se le ha dado poca o ninguna importancia a este tipo de tecnología.

Inicialmente la carga (residuos orgánicos previamente recolectados y tratados si es el caso o estiércol con la proporción de agua adecuada) se adiciona al digestor por medio de un tanque de carga. La digestión anaerobia tiene lugar en el digestor (tanque sellado), el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias fermenten el material orgánico en condiciones libres de oxígeno. Es posible que el digestor necesite de calentamiento y de agitación para lograr dichas condiciones y para que de esta manera las bacterias conviertan la materia orgánica en biogás. Durante este proceso entre el 30 y 60% de los residuos orgánicos se convierten en biogás.

Según “HILBERT JORGE, Manual para la Producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural, Argentina, 2003”, el biogás producido es atrapado en la parte superior del digestor y es removido dejando una tubería por la cual sale el gas colectado. Algunas veces se necesita un filtro para limpiar componentes corrosivos contenidos en el biogás como el ácido sulfhídrico. El biogás caliente se enfría a medida que viaja a través de la tubería, y se da la condensación del vapor de agua en el gas. Un drenaje remueve el condensado producido.

2.2.2. Diseño del biodigestor

“Una planta de biogás tiene una alta inversión. No debe ser construida como una unidad temporal. Fallas y baja eficiencia de una planta de biogás ocurren por mala planificación y también por mala operación. La planificación y el diseño de las estructuras deben ser adecuados y apropiados al medio” (Moncayo, “Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás”, 2008, pág. 412).

“Los proyectos de diseño y construcción de digestores para la producción de biogás para aprovecharlo como combustible en la generación de energía eléctrica” (Murphy. J, McKeogh. E, Kiely. “Technical/economic/environmental analysis of biogas utilization”, 2003).

De “Chugandro, Kléber. Reinaldo (2010). Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas. Tesis Ingeniería Quito: Universidad Politécnica Nacional”, para iniciar es necesario conocer el peso promedio de las vacas de acuerdo a la cantidad de estiércol diaria producida. Por lo que es necesario determinar la cantidad de metano a producir, a partir de la cantidad de materia prima a procesar que se obtiene de la siguiente ecuación.

$$E = Wa \frac{Ea \text{ Kg}}{1000 \text{ kg de animal}} \quad (2.1)$$

Donde:

E= Cantidad de estiércol diaria

Wa= Peso total de animales

Ea= Cantidad total de estiércol promedio en Kg por cada 1000Kg de peso del animal.

Los datos antes mencionados se obtienen de la Tabla que está de en función del estiércol promedio en Kg por cada 1000 Kg de peso. Por lo que de acuerdo al número de reses del lugar de análisis, se obtendrá los kg diarios de producción de excreta.

$$ET = E * \# \text{ vacas} \quad (2.2)$$

a. Sólidos totales (ST)

Se refiere a la materia orgánica, sin la humedad. Los valores promedio de ST de algunos sustratos se eligen de la tabla que está de en función del estiércol promedio en Kg por cada 1000 Kg de peso.

$$ST = Wa * \frac{STa \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal}} \quad (2.3)$$

STa = Contenido promedio de sólidos totales en kg por cada 1000kg de peso animal.

b. Contenido de Sólidos Volátiles (SV)

Es la parte del total de sólidos que se puede transformar en biogás. Los valores promedio de SV de algunos sustratos se eligen según tabla.

$$SV = Wa * \frac{SVa \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg de animal}} \quad (2.4)$$

SVa= Contenido promedio de sólidos volátiles en kg por cada 1000kg de peso animal.

2.2.3. Volumen de metano producido

Es el volumen de metano producido por el digestor cargado con masa orgánica para ciertas condiciones de tiempo de retención y temperatura. Esto se obtiene de forma empírica según la aplicación de las siguientes fórmulas.

$$V_{CH_4} = P_{CH_4} * SV * \left(1 - \frac{K_0}{U_0 * TR - 1 + K_0}\right) [m^3 \cdot CH_4 / día] \quad (2.5)$$

$$+ 0,0006 * e^{0,1185 * SV} \quad (2.6)$$

$$U_0 = 0,013 * T - 0,129 \quad (2.7)$$

Donde:

Ko= Descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo [adimensional]

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

TR= Tiempo de retención [día]

T= Temperatura [°C]

P_{CH₄} = Potencial de producción de metano.

2.2.4. Volumen del biodigestor (V_D)

El estiércol contiene un porcentaje de agua entre el 80 y 90%, por tanto se puede asumir que 1kg de residuo equivale a 1 litro de agua. 2. Aisse, M.M. - Zeny.A.S. "Estudio técnico de biodigestores anaeróbicos alternativos. Relatorio final". Curitiba, Panamá, Pág. 112, Diciembre 1984, Brasil. Pero dependiendo de la fuente proveedora se puede tener una relación.

Es necesario calcular el volumen de agua para diluir la materia prima, hasta la proporción adecuada, de acuerdo al contenido de sólidos del residuo a utilizar. Por ejemplo, en el caso de utilizar estiércol bovino fresco, que contiene entre un 17 % al 20 % de sólidos totales, se deberá agregar entre 1 a 1.5 litros de agua por cada Kg. de estiércol fresco, a fin de obtener una mezcla con 8 % de sólidos totales.

Tabla 2.1. Relación estiércol-agua.

Animal	Relación
Bobino estabulado	1:1
Bobino semi estabulado	1:1
Porcinos peso > 50Kg	1:1-2-3
Aves peso 2Kg	1:1
Equino	1:1-3

Nota: La cantidad que entra en el digestor será la suma de agua más estiércol.

$$V_D = E * TR * F_d \quad (2.8)$$

Donde:

$$V_D = \text{Volumen del digestor [m}^3\text{]}$$

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

TR= Tiempo de retención en días

$$F_d = \text{Factor de dilución del residuo; 1}$$

2.2.5. Volumen real del biodigestor y campana

El biodigestor deberá contener la mezcla de sustrato, agua y gas, tomando en cuenta que el biodigestor será del tipo Plug Flow (75% del volumen debe estar constituido por la fase líquida y 25% debe contener la fase gaseosa). Para ello el cálculo se lo realiza de la siguiente manera:

$$V_D = V_L = 56.25\text{m}^3 * 75\% \quad (2.9)$$

$$V_C = V_L \cdot \frac{0,25}{0,75} \quad (2.10)$$

Donde:

$$V_D = \text{Volumen inicial del digestor}$$

$$V_C = \text{Volumen de la campana o gasómetro}$$

$V_L = \text{Volumen del líquido}$

Por tanto el volumen real del digestor (V_{DR}) será:

$$V_{DR} = V_C + V_D \quad (2.11)$$

2.2.6. Cálculo de la presión hidrostática en el interior del tanque

Para seleccionar el espesor del tanque del biodigestor, es necesario conocer la presión interna que se ejerce tomando en cuenta que el 75% del tanque aloja el líquido y el 25% el biogás. De tal manera que se calcula la masa líquida del sustrato en Kg, con la expresión a continuación indicada:

$$mL = \rho_{H_2O} \cdot VL \quad (2.12)$$

Donde,

mL= Masa líquida del sustrato (kg)

ρ_{H_2O} = Densidad del sustrato (Se toma aproximadamente la del agua 1000 kg/m^3)

VL= Volumen del sustrato calculado anteriormente (56.25 m^3)

Para el cálculo de la máxima presión que ejerce sobre el digestor, se procederá de la siguiente manera.

$$P_1 = P_o + \Delta P \quad (2.13)$$

Donde,

P1= Presión hidrostática en el fondo del recipiente (KPa)

Po= Presión inicial = Presión de gas en la campana = 980 Pa

ΔP = Variación de la presión respecto a la altura del fluido

Pero,

$$\Delta P = \rho ghL \quad (2.14)$$

Por lo tanto

$$P_1 = P_o + \rho ghL \quad (2.15)$$

Donde,

g= Gravedad (9.81 m/s^2)

hL= Altura del líquido

El peso de un litro de agua es de un kilogramo por lo que para efectos de cálculo se considera que el total de estiércol utilizable equivale a 213.28 LITROS/ DÍA.

2.2.7. Volumen liquido diario VLD

$$V_L = V_S + Agua(V_S) \quad (2.16)$$

$$\Delta P = \rho 9.81 h L \quad (2.17)$$

El **TIEMPO DE RETENCIÓN** del efluente se estima en 30 Días.

El **VOLUMEN LÍQUIDO (VL)** del digester para retener el efluente durante el periodo de tiempo será de:

$$V_L = V_{LD} \times t \quad (2.18)$$

2.2.8. Producción de biogás diario (PB/ Día)

Se considera que 1 Kg de SV produce 0.27M3 de Biogás (PB)

$$P_B = 0.27 \times V_L \times V_S \quad (2.19)$$

Para efectos de cálculos se considera que: 1 m³ de biogás = 5.500 kcal y 1 kwh = 860 kcal, entonces 1.38 m³ producen 7590 kcal y esto produce **8.82 kwh**

2.3. Biogás

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.

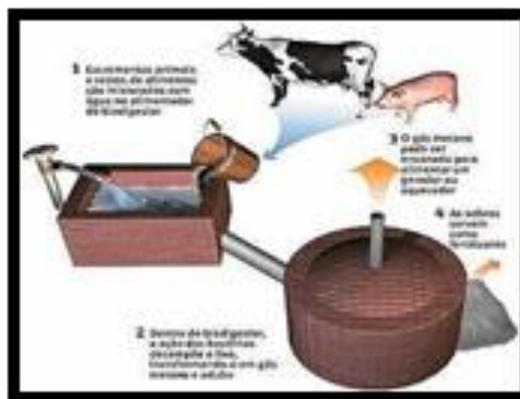


Figura 2.1. Biodegradación de la materia orgánica.

Fuente: Franco, E. Conocimiento de las fuentes de energía renovable.

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo

o abono genérico. El biogás contiene el metano como componente principal con un porcentaje entre el 50 y el 70%, este gas da fuego de color azul claro, no tiene humo, el poder calórico es de 4700 a 6500 kCal./m³.

El biogás es un tipo de combustible limpio adecuado para el aprovechamiento en la cocina, iluminación. También se utiliza este gas en cambio de gasolina o diésel en motores internos como generador de electricidad, tractores... en las zonas de escaso combustible. Como máquinas de refrigeración para la conserva de frutas, semillas, etc.

2.3.1. Composición del biogás

Con el término biogás se designa a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaerobias. La composición de biogás depende del tipo de desecho utilizado y las condiciones en que se procesa. Los principales componentes del biogás son el metano (ch₄) y el dióxido de carbono (co₂). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación (werner 1989).

Tabla 2.2. Principales componentes del biogás.

CARACTERISTICAS	CH ₄ Metano	CO ₂ Bióxido de carbono	H ₂ -H ₂ S Hidrógeno – Ácido Sulfhídrico	OTROS	BIOGAS 60/40
PROPORCIONES % VOLUMEN	55-70	27-44	1	3	100
VALOR CALORICO MJ/m ³	35.8	-	10.8	22	21,5
IGNICION % AIRE	5-15	-	-	-	6-12
TEMP. IGNICION	650- 750	-	-	-	650-750
PRESION CRITICA (MPA)	4,7	7.5	1.2	8.9	7.5-8.9
DENSIDAD RELATIVA	0.55	2,5	0.07	1.2	0,83
INFLAMABILIDAD % EN AIRE	5-15	-	-	-	6-12

El metano, principal componente del biogás, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano alrededor de 20 – 25 MJ/m³, comparado con 33 – 38MJ/m³ para el gas natural. El metano es un gas combustible, incoloro, inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Veintiuna veces más activo que el gas carbónico, el biogás contribuye también muy activamente al "efecto invernadero". Para evitar estos inconvenientes, su eliminación se ha hecho obligatoria para las mayores instalaciones. Generalmente quemado en chimeneas, puede servir también para producir electricidad: un m³ de biogás equivale a medio metro cúbico de gas natural, es decir, 5 kw/h.

Hasta ahora, su explotación estaba limitada por los compuestos corrosivos del biogás y por su composición fluctuante. Efectivamente, ésta varía en función de las condiciones climáticas: según la humedad, la temperatura, la presión atmosférica y el modo de captación, su tenor en metano, que confiere al biogás su poder calorífico, oscila entre un 30 y un 60 %, con el resultado de que los motores, afectados por una corrosión y un atascamiento importantes, deben someterse a un ajuste delicado. Por consiguiente, el biogás se mezcla generalmente con gas natural antes de ser utilizado en las centrales eléctricas.

2.4. Biomasa

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo C_nH_m, y presencia de CO₂, CO e H₂) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. “Secretaría De Energía Av. Paseo Colón 171 Capital Federal - CP (C1063ACB) República Argentina - Conmutador: 54-11-4349-5000 - <http://www.energia.gov.ar>”. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

En general se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre los 3000 - 3500 kcal/kg para los residuos ligno - celulósicos, los 2000 - 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente los 10000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Estas características, juntamente con el bajo contenido de azufre de la biomasa, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente.

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de CO₂ a la atmósfera es neutro. En efecto, el CO₂ generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de CO₂ presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

La explotación de biomasa para distintas actividades económicas, de acuerdo a las características particulares que poseen, los residuos pueden provenir de las siguientes actividades: forestales, industriales, agrícolas, pecuarias, agroindustriales o urbanas.

Es importante destacar que en ocasiones puede darse la necesidad de cultivar y explotar la biomasa con fines exclusivamente energéticos. En este caso se habla de cultivos energéticos.

Desde el punto de vista técnico, los residuos agrícolas, dependiendo de sus características propias, pueden ser convertidos en energía útil a través de procesos termoquímicos o bioquímicos: su grado de humedad y su contenido de lignina definirán en cada caso el proceso más conveniente.

La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, esa energía se la puede recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles “Fernando, S. La biomasa como fuente de energía renovable, <http://www.cps.unizar.es/isf/index.htm>”.

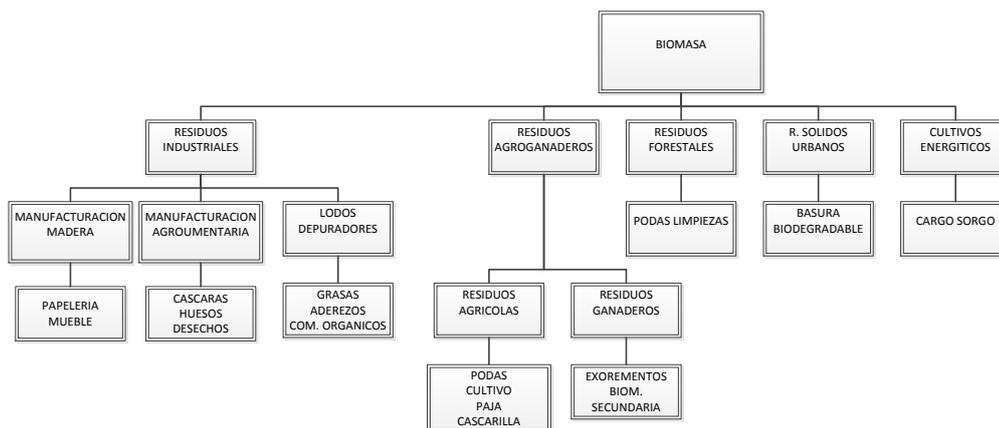


Figura 2.2. Fuentes de biomasa.

Fuente: Sagredo, S. C.-J. Diferentes Aplicaciones del Biogás.

a. Masa Seca (MS)

La masa seca es la cantidad de sólidos que contiene la biomasa, básicamente es la consistencia de la biomasa, el porcentaje de masa seca se obtiene sometiendo una cantidad de biomasa, previamente pesada, a 110 °C, después de este proceso toda la humedad desaparece, se vuelve a pesar la materia restante y se obtiene este porcentaje.

Al determinar el porcentaje de masa seca también determinamos el porcentaje de humedad, dato que nos ayuda para diluir la biomasa a su parámetro apropiado de alimentación al digestor.

b. Masa volátil (MV)

Es el porcentaje de masa orgánica que contiene la biomasa, específicamente es la cantidad de materia que se degrada y se transforma en biogás, el resto de masa no se transforma en biogás ya que es agua y cenizas. Al someter la masa seca a 500 °C por cinco horas incineramos la materia, nos quedara como sobrante lo que llamamos cenizas; las cenizas son la materia inorgánica que posteriormente se convertirá en lodos que no son digeridos por las bacterias; la diferencia entre masa seca y cenizas se denomina porcentaje de masa volátil (Aguilar, G. K. 27 de 08 de 2007). La duración de la reducción del material biológico depende de los microorganismos especiales y de sus temperaturas óptimas del crecimiento.

2.5. Aprovechamiento de la Biomasa en Ecuador

En el Ecuador, en el año 2000, un grupo de investigadores de la ESPE realizó una visita técnica a la región oriental, concretamente al cantón Taisha, donde se encuentra el Batallón de Selva BS 50 Morona. Allí se ha constatado que existe un biodigestor de 25m³, que jamás ha entrado en funcionamiento, por la dificultad de recolectar el estiércol del ganado para cargarlo en la cámara de fermentación, dadas las difíciles condiciones climáticas de la localidad. Por otra parte, esta zona tiene un importante recurso al disponer de abundante biomasa residual, la misma que debidamente seleccionada puede ser utilizada en instalaciones de generación de biogás.

2.6. Biogás como fuente de energía

La producción de biogás la determina el contenido de proteínas, hidratos de carbono y grasas que forman la biomasa o los sustratos que se co-digestionan. “La mayor cantidad de biogás se obtiene de las grasas, pero el mayor porcentaje de gas metano se obtiene de las proteínas (71%)” (Perry L. McCarty, “Chemistry for environmental engineering and science”, 2003, pág. 198).

La menor producción de metano se obtiene de los hidratos de carbono. Por estas razones es muy importante lograr una mezcla de sustrato equilibrada en donde se produzca la mayor cantidad de biogás, pero también el mayor contenido porcentual de gas metano. Hay sustratos como el pasto o el forraje de maíz que produce mayores cantidades de biogás por Kg. de MV” (Carrillo, “Microbiología Agrícola”, 2003, pág. 8).

“Un metro cúbico de metano a temperatura y presión normales tiene un poder calorífico neto de 35800 kJ/m³, el biogás tiene un poder calorífico de aproximadamente 22400 kJ/m³” (Morales P., “Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento”, Tesis Licenciatura en Ingeniería Química, 2005).

Diversos países investigan convertir el metano en el sustituto de los combustibles fósiles, evitando así su potente efecto en el cambio climático. Otros proponen este gas producido por los excrementos humanos y animales o los residuos urbanos para

generar energía, e incluso se está probando como combustible para las naves espaciales del futuro.

Se busca la alternativa de un combustible renovable para disminuir la dependencia del petróleo por parte de los países industrializados, debido a su inminente terminación y a los precios que se elevan cada día, prácticamente el mundo ha entrado en una crisis energética y ambiental que nos están llevando a analizar varias alternativas energéticas.

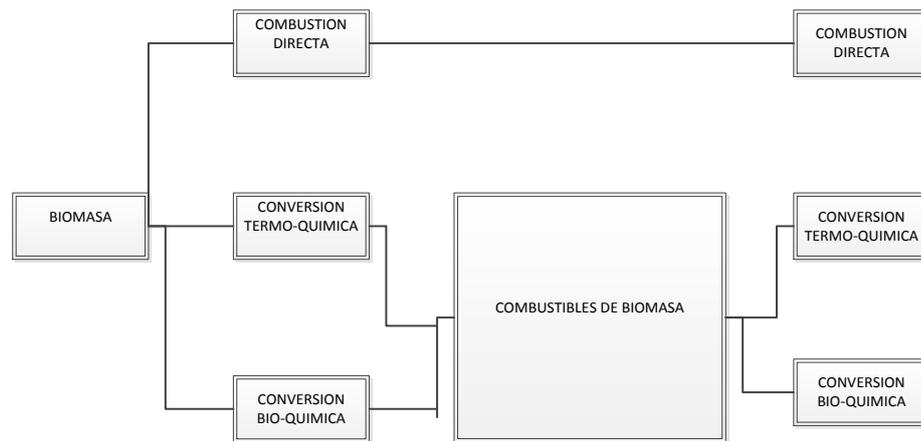


Figura 2.3. Procesos de conversión de la biomasa en energía.

Fuente: Sagredo, S. C.-J. Diferentes Aplicaciones del Biogás.

a. Desechos agrícolas y animales con potencial para producir metano

- Desechos Animales: Estiércoles, cama, desechos alimenticios, orina, etc.
- Residuos Agrícolas: Semillas, pajas, bagazo de caña, etc.
- Desechos de Rastros: Sangre, carne, desechos de pescado, etc.
- Residuos Agroindustriales: Aserrín, desechos de tabaco, cascarilla de arroz, desechos de frutas y vegetales, etc.
- Residuos Forestales: Ramas, hojas, cortezas, etc.

b. Procesos Bioquímicos

Según “HILBERT JORGE, Manual para la Producción de Biogás, Instituto de Ingeniería Rural, Argentina, 2003” la biodigestión anaerobia es la materia orgánica contenida en los desechos, bajo ciertas condiciones, es posible que sea tratada biológicamente por acción de microorganismos, en recipientes herméticamente sellados. Este es un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, donde se

genera una mezcla de gases que, en su conjunto, reciben el nombre de biogás. Básicamente, el proceso considera tres etapas: Hidrólisis, etapa en la que los polisacáridos (celulosa, almidón, etc.), los lípidos (grasas) y las proteínas, son reducidas a moléculas más simples; Acidogénesis, etapa en que los productos formados anteriormente son transformados principalmente en ácido acético, hidrógeno y CO₂; Metanogénesis, los productos resultantes de esta etapa son metano CH₄ y CO₂, principalmente.

Considerando que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico. Los principales parámetros que influyen en la producción de biogás son:

- Temperatura
- Tiempo de Retención
- Relación Carbono/Nitrógeno
- Porcentaje de sólidos
- PH
- Agitación

La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de las aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

c. Principios de la descomposición anaeróbica.

Las bacterias metanogénicas, en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.

d. Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso.

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo, los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales.

Las bacterias productoras del biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años.

2.7. Etapas intervinientes.

Una idea general sobre el proceso microbiológico involucrado en la formación de metano es necesaria para poder comprender mejor el diseño y funcionamiento de los denominados reactores o digestores productores de biogás. La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos. “Las tasas de crecimiento de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores que las de la fase de acetogénesis, por ello, son las que limitarán el proceso de degradación anaerobia. Son también las que condicionarán el tiempo de retención de la biomasa en el digestor así como la temperatura del proceso” (Perry L. McCarty, “Chemistry for environmental engineering and science”, 2003, pág. 118).

2.7.1. Primera etapa llamada periodo de licuefacción.

Enzimas extracelulares de ciertas bacterias tales como celulosa, lipasa, proteasa, etc., hidrolizan externamente la materia orgánica. Así por ejemplo, los polisacáridos son metabolizados a mono y disacáridos, las proteínas a polipéptidos y aminoácidos, las grasas a glicerol y ácidos grasos. En otras palabras, la materia orgánica sólida es transformada en materia soluble.

2.7.2. Segunda etapa llamada periodo de acidogénesis.

Los productos de la primera fase penetran en las células bacterianas, donde por medio de endoenzimas son transformados a compuestos macromoleculares tales como ácidos grasos, alcohol, etc. Las fases de licuefacción y acidogénesis son procesos consecutivos que juntos se conocen como período no productor de metano.

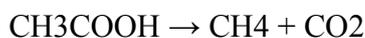
En este período, debido a la acción conjunta de varios tipos de microorganismos, la materia prima se descompone bajo condiciones anaeróbicas, en compuestos micromoleculares simples: dióxido de carbono e hidrógeno. Ácidos de bajo peso molecular, alcohol, CO₂ e H₂ son todos sustratos para la síntesis de metano. Por lo tanto, el período no productor de metano puede verse como un proceso en el que la materia orgánica compleja es convertida en sustancias que pueden ser usadas por las bacterias productoras de metano y que son necesarias para su subsistencia y actividad normal. Los microorganismos que tienen importancia en la fase no productora de metano son especies muy diversas, dependiendo del tipo de materia prima que se desee fermentar.

Las bacterias estrictamente anaeróbicas tienen un papel muy importante en este período y su población puede ser 200 ó 300 veces mayor que la de las bacterias aeróbicas facultativas y aeróbicas. La presencia de microorganismos productores de H₂ en este período es fundamental, ya que el hidrógeno debe estar presente a la hora de la producción de metano por reducción de CO₂.

2.7.3. Tercera etapa conocida como periodo productor de metano.

En esta etapa los sustratos producidos son transformados a metano por la acción de un grupo particular de bacterias, que requieren de un ambiente estrictamente anaeróbico, son muy sensibles al oxígeno y a otros tipos de agentes oxidantes. Hasta la fecha se han identificado cuatro géneros y once especies de bacterias. El metano se puede formar de 3 maneras mediante el metabolismo bacteriano, que son las siguientes:

a. Fermentación del ácido acético:

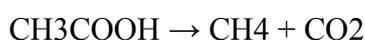


b. Fermentación del ácido propiónico:

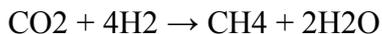
1era. Etapa



2da. Etapa



c. Reducción del dióxido de carbono:



El producto final puede llegar a tener un 60% de metano y un 40% de CO₂ dependiendo estos valores de la calidad de la materia prima. Dependientes uno de otro, los tres períodos de fermentación anaeróbica son procesos sucesivos y mantienen un balance dinámico. Cualquier desequilibrio puede incluso detener el proceso.

Tabla 2.5. Composición química del biogás según la fuente de obtención.

	Estiércol animal	Lodos cloacales	Desechos industriales	Rellenos sanitarios	Propiedades
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%	Combustible
CO ₂	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%	Ácido asfixiante
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%	Combustible
H ₂ S	100-700ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm	Corrosivo, olor

Tabla 2.6. Propiedades metano.

Inflamabilidad	a -188°C
Autoignición	537°C
Limite explosividad	5-15%

Tabla 2.7. Variable de días y temperatura.

Temperatura	Días	Altitud (metros)
30°C-60°C	10	2500
10°C-30 °C	25	2500
7 °C -10°C	55-100	2500

Tabla 2.8. Equivalencias energéticas.

Biogás	Equivalencia
1 m ³ biogás	6000 Kcal
1 m ³ biogás	6.8 KWh electricidad
1 m ³ biogás	0.6 m ³ gas natural
<i>1 m³ biogás</i>	<i>0.8 L de gasolina</i>
1 m ³ biogás	1.5 Kg de madera
1 m ³ biogás	0.75 L de diésel

La equivalencia importante que nos sirve para determinar el tiempo de prendido de un motor aproximadamente es la comparación con la gasolina, GLP y cuanto gas deberíamos producir.

Tabla 2.9. Ventajas y Desventajas Biogás.

Ventajas	Desventajas
No contiene azufre	Costo materias primas
Mejor combustión reduce en un 30% el humo al arranque en frío	Se puede generar glicerina para su producción ilegal.
Transporte seguro debido propiedades del metano	

2.8. Los motores de combustión interna

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como a diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110, lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado una desventaja es su baja velocidad de encendido. En los motores de ciclo Otto el carburador convencional es remplazado por un mezclador de gases. “Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una reducción de la potencia máxima del 20% al 30%” (Moncayo, “Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás”, 2008, pág. 575).

Un motor de combustión interna es cualquier tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que

arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor. Se utilizan motores de combustión interna de cuatro tipos: el motor cíclico Otto, el motor diésel, el motor rotatorio y la turbina de combustión.



Figura 2.4. Motor de combustión interna Toyota 5R.

Fuente: Elaboración propia

“Un 1% de diferencia en el grado de eficiencia para una unidad de generación de 100 kW puede representar ingresos anuales menores o mayores en el orden de 5000 dólares” (Jelen, “Cost and Optimization Engineering”, Todos los motores tienen que disponer de una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro. Por ejemplo, el sistema de ignición de los motores Otto, llamado bobina de encendido, es una fuente de corriente eléctrica continua de bajo voltaje conectada al primario de un transformador. La corriente se corta muchas veces por segundo con un temporizador. Las fluctuaciones de la corriente del primario inducen en el secundario una corriente de alto voltaje, que se conduce a cada cilindro a través de un interruptor rotatorio llamado distribuidor. El dispositivo que produce la ignición es la bujía, un conductor fijado a la pared superior de cada cilindro. La bujía contiene dos hilos separados entre los que la corriente de alto voltaje produce un arco eléctrico que genera la chispa que enciende el combustible dentro del cilindro.

En los motores de Ciclo Otto, el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás, con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%. Es la relación entre la energía mecánica que genera el motor y el contenido de energía del combustible que se utiliza. Algunas veces se equiparará el grado de eficiencia mecánica con el grado de eficiencia eléctrica, lo que no es

correcto. El grado de eficiencia mecánica depende del tipo de motor, de su construcción y tamaño. Este grado de eficiencia es aproximadamente 45% para motores de combustión interna tipo Otto y para motores de ignición. “Escuela Politécnica Del Ejército Departamento De Energía Y Mecánica Carrera De Ingeniería Mecánica Factibilidad Técnica Y Económica Para El Desarrollo De Una Instalación Termoeléctrica De 160 Kw Mediante La Combustión De Biogás Para La Hacienda “Tarragona” Título De Ingeniero Mecánico Andrés Alejandro Gallardo Ocampo - Jorge Esteban Riofrío Andrade Sangolquí, 2010-05, pag. Clxiii.

Se ha observado que la proporción de ácido sulfhídrico H₂S en el biogás causa deterioros en las válvulas de admisión y de escape de determinados motores obligando a un cambio más frecuente de los aceites lubricantes. El grado de deterioro en los motores varía considerablemente y los resultados obtenidos experimentalmente suelen ser contradictorios. De tal manera que se hace necesario el uso de filtro de oxidación para evitar los procesos de corrosión de los elementos internos del motor y poder contrarrestar esta desventaja del biogás como combustible.

Los motores a biogás tienen amplio espectro de aplicación siendo los más usuales: según (Sagredo, S. C.-J. (Domingo, 24 de junio de 2007). Diferentes Aplicaciones del Biogás. Recuperado el jueves, 11 de Abril de 2013, de <http://aplicacionesbiogas.blogspot.com>) el bombeo de agua; el picado de raciones y el funcionamiento de ordeñadoras en el área rural; el otro uso muy generalizado es su empleo para activar generadores de electricidad. En la figura, se muestran distintas alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás, con sus respectivos consumos.

Los motores diésel para utilizarlos con metano natural “biogás” dada su estructura y trabajan con una alta compresión y relaciones de compresión que van desde 15:1 hasta 25:1, se tiene que agregar un mezclador de gases controlado paralelamente con el sistema de inyección convencional de tal forma de optimizar las relaciones de biogás - diésel por kg de aire.

“La relación de trabajo diesel/biogás varía en función del régimen de trabajo del motor y en el común de los casos, el contenido de gasoil por gas natural podría ser por ejemplo de un 20 % para bajas revoluciones, hasta llegar a un 80 % como regímenes nominales, dependiendo de los ciclos de servicio.” (Moncayo, “Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás”, 2008, pág. 581).

2.8.1. El Biogás Como Combustible En M.C.I.

Los componentes principales del biogás son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), pero también se encuentran pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico (H₂S), hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), argón (Ar), monóxido de carbono (CO) y trazas de amoníaco (NH₃) (Mitzlaff, 1988).

El poder calorífico y otras propiedades del biogás dependen de la cantidad de metano en el biogás (éste varía entre 50 y 80% en vol.), el cual a su vez depende del proceso de obtención y de la materia prima utilizada. Las propiedades físico-químicas del biogás utilizado, a condiciones estándares (101,3 kPa y 273 K),

El ácido sulfhídrico (H₂S), contenido en el biogás (de 0,10 a 0,50%), es altamente corrosivo. Para algunos motores, Mitzlaff (1988) especifica como límite máximo permitido 1.500 ppm (0,15% en vol.); por esta razón, es necesario el uso de filtros que disminuyan su concentración

2.8.2. Componentes Del Sistema De Alimentación De Biogás En M.C.I.

Los componentes principales del sistema de alimentación de biogás son: regulador de caudal, electroválvula de gas para el arranque en frío del motor y mezclador aire/gas. Estos elementos se unen entre sí mediante mangueras, tuberías y conectores de diferentes especificaciones.

2.8.3. Funcionamiento del sistema

El biogás, proveniente del biodigestor, ingresa al sistema de alimentación del motor por la línea de suministro y luego al regulador de presión donde se dosifica la cantidad de gas que consume el motor en función de la carga.

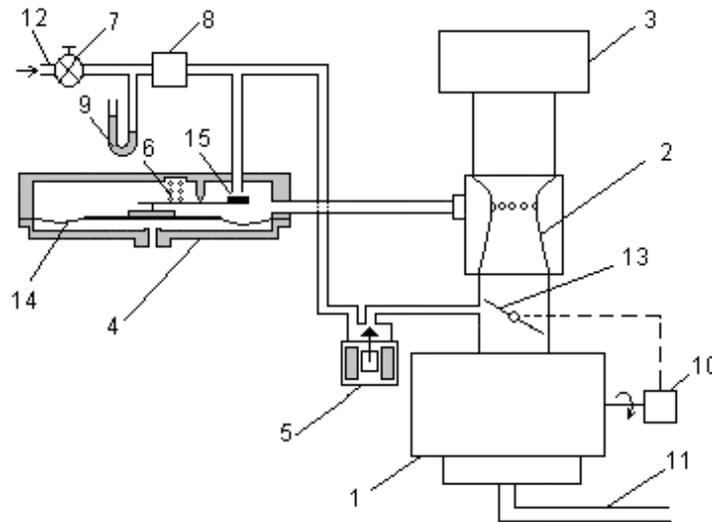


Figura 2.5. Esquema del sistema de alimentación de biogás.

Fuente: Lira Cacho, J.G., Oliveros Donohue, A., Barrera, J.

Antes que el gas ingrese al mezclador aire/gas, se mide la presión de suministro con el manómetro en “U”, y el caudal de gas con el flujómetro. El biogás ingresa al motor gracias a la succión que provoca el descenso de los pistones del motor durante la carrera de admisión, vacío que se incrementa cuando el aire, proveniente del filtro, pasa por la garganta del mezclador. Este vacío sirve también para succionar al diafragma del regulador con lo que se abre el obturador. Para regular la cantidad de gas que ingresa al motor en el régimen de potencia máxima se utiliza el tornillo. Durante el arranque en frío del motor se abre la electroválvula para derivar directamente el gas a la zona de alto vacío, delante de la válvula de mariposa. La velocidad del motor se controla con el regulador centrífugo, el cual actúa sobre la válvula de mariposa a través de un sistema de palancas.

2.8.4. Regulador-dosificador

El regulador-dosificador de biogás es el componente más importante del sistema de alimentación. Es un dispositivo neumático, que se encuentra ubicado entre la línea de suministro y el mezclador. Su función es regular con precisión la cantidad de biogás que ingresa al motor en función de la carga.

Debido a la baja presión manométrica de suministro del biogás, que no supera 20 mbar, este regulador es de una sola etapa. Con el objeto de reducir costos se modificó el regulador original del motor, de marca Impco, modelo 200, para gas natural y GLP, al cual se le eliminó la primera etapa (etapa de alta presión) y el calentador-vaporizador del gas, de tal forma que el biogás llega al reductor directamente, sin ninguna pérdida de presión. Para aumentar la sensibilidad de la regulación del caudal de gas se utilizó un resorte más blando (de 0,8 mm de diámetro del alambre). “XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES), Lima, 14 -19.11.2011 Regulación Automática Del Sistema De Alimentación De Biogás De Un Motor De Combustión Interna Juan Guillermo Lira Cacho - Alex Contreras Paredes - Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica”

2.9. Mezclador

Es el elemento encargado de combinar el gas con el aire en la proporción adecuada, a cualquier régimen de funcionamiento del motor. El perfil de la tobera debe ser tal que produzcan las menores pérdidas de presión en el flujo, por lo que éste debe ser lo más aerodinámico posible.

El mezclador tiene, básicamente, el mismo principio que un carburador convencional (Según Mitzlaff, K. Von, “Engines for biogas”. GATE. Deutsches Zentrum fur Entwicklungstechnologien. Germany, 1988), es decir, el flujo de aire, que ingresa al motor durante la admisión, origina una depresión en la garganta del mezclador donde se ubican los agujeros por donde sale el biogás hacia el motor.

Los mezcladores están sujetos a constantes innovaciones a fin de adaptarlos a las exigencias y características tanto de los nuevos motores como de los carburadores. Por tanto se puede decir que por cada clase de automóvil hay un modelo diferente de mezclador.

El diseño del mezclador permite obtener las principales medidas de éste, tales como: los diámetros de ingreso y salida de la tobera, el diámetro de la garganta, la longitud y el perfil óptimos de la tobera. La modelación también permite determinar el número y diámetro de los agujeros de alimentación de biogás, de manera que se obtenga una mezcla homogénea y con un coeficiente de exceso de aire adecuado. También se consideró la inclinación del eje de los agujeros ($=15^\circ$) del biogás con respecto al plano perpendicular al eje de la tobera, de tal manera que aumente el valor del coeficiente de descarga de los mismos.

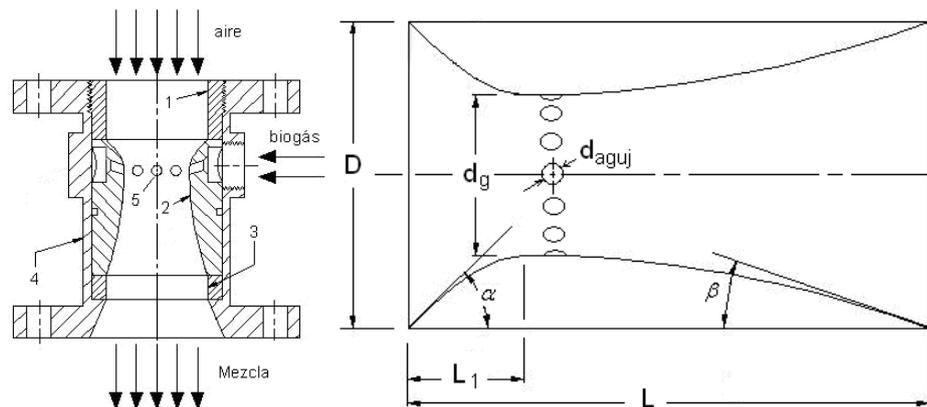


Figura 2.6. Esquema y dimensiones del mezclador de biogás.

Fuente: “XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XVIII- SPES

Tabla 2.10. Características del mezclador.

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Diámetros de entrada y salida, mm	D	60,4	Mm
Diámetro de la garganta, mm	d_g	22,0	Mm
Longitud, mm	L	100	Mm
Longitud de parte convergente, mm	L_i	25	mm
Número de agujeros	N°	10	u
Diámetro de agujeros, mm	d_{agu}	4	mm
Angulo de entrada	a	45°	Grados
Angulo de salida	P	20°	Grados

El caudal de gas suministrado al motor también se calcula:

$$V\delta = Asal \sqrt{\frac{2}{P\delta} \sqrt{Pr - P\delta}} \quad (2.20)$$

Donde $Asal$ es el área efectiva equivalente entre el regulador-dosificador y el mezclador, y se calcula:

$$Asal = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(A1Cd1)^2} + \frac{1}{(AagujCdaguj)^2}}} \quad (2.21)$$

Donde $(A1Cd1)$ y $(AagujCd,aguj)$ son las áreas efectivas de la salida del reductor y los agujeros del mezclador, respectivamente. La caída de presión que produce el flujo de mezcla aire-gas al pasar por la garganta del mezclador es:

$$\Delta Pd = \frac{1}{2} \rho 0Va^2 \frac{1}{CdmzA\delta} \quad (2.22)$$

Donde $A\delta$ es el área de la garganta del mezclador. Por lo que la presión absoluta en la garganta del mezclador es:

$$P\delta = \rho o - \Delta pd \quad (2.23)$$

El coeficiente de descarga del mezclador, se puede considerar constante e igual a 0,98 dada la forma aerodinámica del mezclador.

a. Mezclador de chapa superior

Se colocan encima del carburador. En general son fáciles de montar, basta desmontar la caja del filtro y su tubo de unión al carburador y poner el mezclador encima del carburador.

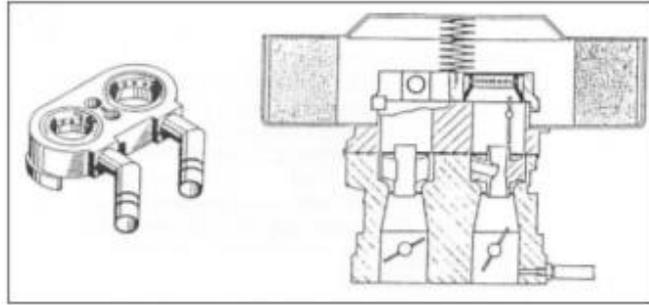


Figura 2.7. Mezclador de chapa superior.

Fuente: Manual de instalación GLP, LOVATO Autores.

b. Mezcladores bajo chapa

Se montan entre el carburador y el cuerpo de la válvula a mariposa, en aquellos carburadores cuyas dos partes se pueden separar. Ofrecen ventajas: crea una cohesión mejor en la mezcla aire – gasolina, reduce notablemente las emisiones nocivas de los gases de escape, como el óxido de carbono; y al estar montado debajo del difusor del carburador no altera el funcionamiento con gasolina.

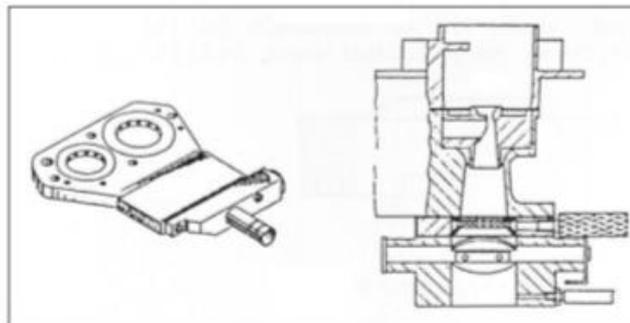


Figura 2.8. Mezclador bajo chapa.

Fuente: Manual de instalación GLP, LOVATO Autores.

c. Sistema Mixto

No se puede aplicar con todo tipo de carburadores, la posición del orificio está condicionada por la necesidad de situar el acoplamiento, pues la generatriz superior del acoplamiento se halle un poco más bajo (2 o 3 mm) de la sección estrecha del tubo Venturi,

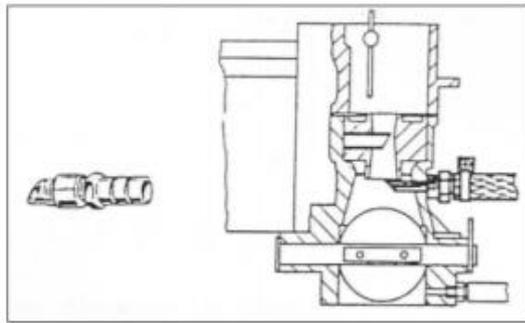


Figura 2.9. Montaje de un sistema mixto.

Fuente: Manual de instalación GLP, LOVATO Autores.

2.9.1. Funcionamiento del mezclador

El objetivo de ambos dispositivos (carburador – mezclador) es el de garantizar una relación constante (en masa) entre la cantidad de aire y la cantidad de carburante, cosa que es necesaria a fin de que el motor funcione bien. Por tanto hay que cumplir dos funciones: medir el caudal del aire y dosificar el combustible.

El tubo Venturi desempeña la primera función: la caída de presión que se crea en su sección estrecha está vinculada al caudal de masa. La segunda función, o sea la dosificación, se produce porque la caída de presión en el tubo Venturi atrae una cierta cantidad de gas, vinculada a la pérdida de presión.

2.10. Diseño mezclador según LOVATO

Según el manual de instalaciones gas licuado de petróleo de la empresa Lovato “www.lovatogas.com/manualdeinstalación/glp/lovato/autores bajado el 10 de abril de 2013.” Conceptualmente es semejante al del carburador. El objetivo es garantizar una relación constante (en masa) entre la cantidad de aire y la cantidad de carburante, cosa que es necesaria a fin que el motor funcione bien. Por tanto hay que cumplir dos funciones: medir el caudal de aire y dosificar el combustible.

- a. El tubo Venturi desempeña la primera función: la caída de presión que se crea en su sección estrecha está vinculada al caudal de masa con una relación del tipo:

$$G_a = K_a \times (dP \times m_a) \quad (2.24)$$

Donde:

G_a = caudal de aire

K_a = constante de proporcionalidad

dP = caída de presión en la sección estrecha del tubo Venturi

m_a = densidad del aire.

- b. La segunda función, o sea la dosificación, se produce porque la caída de presión en el tubo de Venturi atrae una cierta cantidad de gas, vinculada a la pérdida de presión según la relación:

$$G_g = K_g \times (dP \times m_g) \quad (2.25)$$

Donde:

G_g = caudal de gas

K_g = constante de proporcionalidad

m_g = densidad del gas.

- c. Comparando las dos relaciones y llamando R la relación aire gas se obtiene:

$$R = K_a \cdot (m_a) : K_g \cdot (m_g) \quad (2.26)$$

Nota: En el caso los dos fluidos se consideren incompresibles, hipótesis admisible dada las bajas presiones en juego (del orden de algún centenar de mm de columna de agua), el valor de R permanece constante al variar el caudal del aire.

2.11. Cálculos y dimensionamiento del mezclador

El mezclador tiene, básicamente, el mismo principio que un carburador convencional (Mitzlaff, 1988), es decir, el flujo de aire, que ingresa al motor durante la admisión, origina una depresión en la garganta del mezclador donde están dispuestos los orificios por donde alimenta el biogás hacia el motor. La depresión en la garganta del mezclador varía en función de la posición de la válvula de mariposa del carburador y de la velocidad del motor.

2.11.1. Flujo de aire a lo largo del conducto de entrada

El aire proveniente de la atmosfera circula por el sistema de alimentación, el depurador de aire, donde se retiene las partículas de polvo suspendidas en el aire e ingresa al conducto de aire del carburador, en el cual está ubicada la mariposa de aire, con una válvula automática. Desde el conducto de aire, este se dirige al difusor, donde su velocidad considerablemente aumenta y la presión disminuye. Para disminuir las pérdidas del flujo de aire se utilizan difusores con un ángulo de entrada de 30 grados y en la salida de 7 grados.

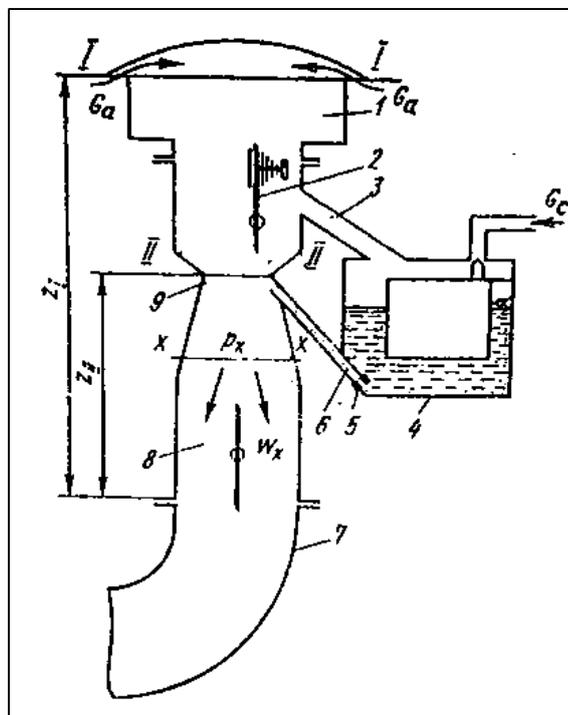


Figura 2.10. Esquema del carburador Elemental.

Fuente: M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil.

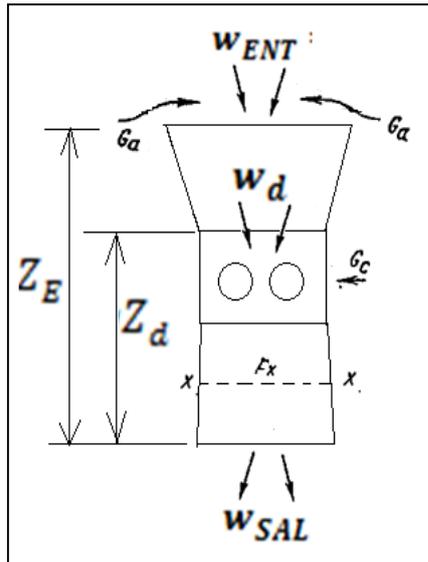


Figura 2.11. Diagrama del carburador Elemental.

Fuente: M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil.

El gasto de aire que pasa por cualquier sección, incluida la sección $x - x$ se mantiene constante y se expresa por la fórmula:

$$G_a = w_x f_x \rho_x = \text{constante}$$

$$G_a = \frac{m}{s} * m^2 * \frac{kg}{m^3} = \frac{kg}{s} \quad (2.27)$$

Dónde:

G_a =es la cantidad de aire que pasa por el conducto por unidad de tiempo (kg/s)

w_x = la velocidad del aire en la sección $x - x$ (m/s)

f_x =el área del conducto en la sección $x - x$ (m^2)

ρ_x = la densidad del aire en la sección $x - x$ (kg/m^3)

El aire puede considerarse como un fluido incompresible, cuya densidad se mantiene constante. Para esta suposición.

$$\rho_0 = \rho_{ENT} = \rho_{SALI} = \rho_d \quad (2.28)$$

Dónde:

ρ_0 = Densidad del aire inicial

ρ_{ENT} = Densidad del aire en la sección de entrada

ρ_{SAL} = Densidad del aire en la sección de salida

Deducción:

$$Ga = w_x f_x \rho_x \quad (2.29)$$

Tenemos:

$$\frac{w_I}{w_x} = \frac{f_x}{f_I} = \frac{d^2 x}{d^2 I}, \frac{w_d}{w_{SAL}} = \frac{f_{SAL}}{f_d} = \frac{d^2 SAL}{d^2 d} \quad (2.30)$$

“Es decir la velocidad del flujo, es inversamente proporcional al cuadrado del diámetro de la sección respectiva” M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil, editorial MIR Moscú 1982, Pág. 279

Nota: para un cálculo determinado a ralentí = 800 rpm

“Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $w_{ad} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$ ”

Para datos de cálculo tenemos:

$$w_{ad} = w_{SAL} = 50 \text{ m/s} \quad (2.31)$$

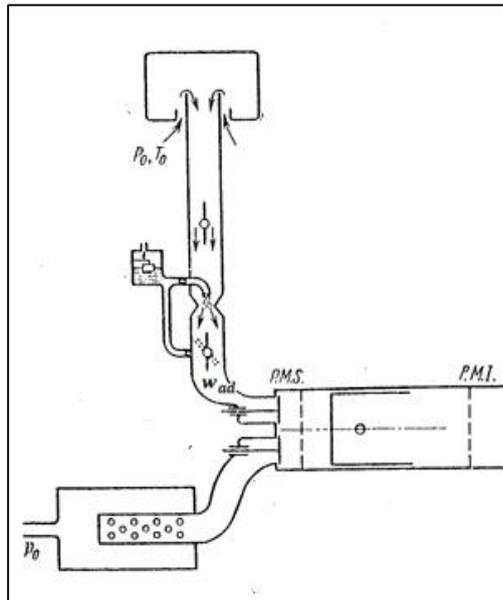


Figura 2.12. Sistema de Alimentación del Motor.

Fuente: M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil.

$$\frac{w_d}{w_{SAL}} = \frac{d^2 SAL}{d^2 d} \quad (2.32)$$

$$W_d = \frac{w_{SAL} \times d^2 SAL}{d^2 d} \quad (2.33)$$

$$W_{ENT} = \frac{w_{SAL} \times d^2 SAL}{d^2 ENT} \quad (2.34)$$

2.11.2. Comprobación de cálculo de velocidades

ECUACIÓN DE BERNOULLI Según el principio de conservación de la energía tenemos:

$$E = E_x + E_{P(1-x)} \quad (2.35)$$

Dónde:

E_x = es la energía del flujo en la sección $x - x$.

$E_{P(1-x)}$ = las pérdidas de energía en la sección examinando el flujo de aire.

Tomando en consideración la suposición hecha sobre la incompresibilidad del aire en movimiento, obtenemos para las dos secciones examinadas:

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\rho_0} + \frac{w^2_1}{2} = gZ_x + \frac{p_x}{\rho_0} + \frac{w^2_x}{2} + \varepsilon_{1-x} \frac{w^2_x}{2} \quad (2.36)$$

M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil, editorial MIR Moscú 1982, Pág. 279

ε_{1-x} = es el coeficiente de perdidas cuando el aire se desplaza desde la sección I-I a la sección $x - x$.

La densidad del aire es relativamente pequeña se puede despreciar la variación de la energía de posición y adoptar que $Z_1 = Z_x$.

Entonces tenemos:

$$\Delta P_d = p_E - p_d = \left[gZ_d + \frac{w^2_d}{2} + \varepsilon_{E-d} \frac{w^2_d}{2} - gZ_E - \frac{w^2_E}{2} \right] \quad (2.37)$$

La velocidad del aire en la sección $x - x$

$$w_x = \sqrt{\frac{2\Delta p_x}{\rho_0(1+\varepsilon_{0-x})}} \quad (2.38)$$

O bien

$$w_x = \sqrt{\frac{1}{1+\varepsilon_{0-x}}} \sqrt{\frac{2\Delta p_x}{\rho_0}} = \varphi_x \sqrt{\frac{2\Delta p_x}{\rho_0}} \quad (2.39)$$

Dónde:

φ = coeficiente de velocidad en la sección examinada y tiene en cuenta la disminución de la velocidad debido a la resistencia hidráulica del conducto de admisión.

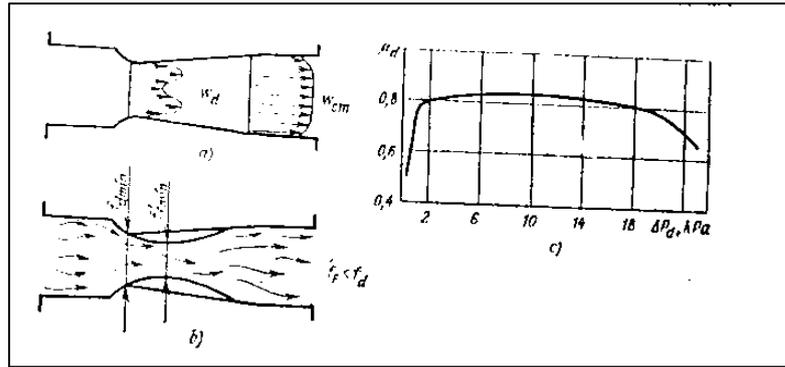


Figura 2.13. Flujo de Aire a Través del Difusor.

Fuente: M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil.

$$\mu_d = 0,8$$

El producto del coeficiente de velocidad φ_x por el coeficiente de contracción de chorro α_{ch} se denomina coeficiente de descarga μ_d

Para la sección mínima del difusor:

$$w_d = \mu_d \sqrt{\frac{2\Delta p_x}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{kg}{m^3}}} = \sqrt{\frac{\frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot m^2}}{\frac{kg}{m^3}}} = \sqrt{\frac{m^2}{s^2}} = m/s \quad (2.40)$$

w_d se da en m/s

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R_a T_0} \quad (2.41)$$

$$R_a = \text{constante universal de los gases} = \frac{8314}{\mu_a}$$

$$\mu_a = \text{masa molecular aparente del aire} = 28,89$$

2.11.3. Calculo de la presión atmosférica tenemos

$$P_0 = P_{\text{nivel mar}} * e^{-mgh/kT} \quad (2.42)$$

$P_{\text{nivel mar}}$ = presión atmosférica a nivel del mar

m = masa molecular aparente del aire

g = gravedad

T = temperatura del ambiente

Área del conducto en el difusor:

$$f_d = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.43)$$

a. Análisis dimensional de la Cantidad de aire

$$G_a = \mu_d f_d \sqrt{2\Delta P_d \rho_0}$$

$$G_a = m^2 \sqrt{\frac{N \text{ kg}}{m^2 m^3}} = m^2 \sqrt{\frac{\frac{kgm}{s^2} \text{ kg}}{m^2 m^3}} = m^2 \sqrt{\frac{kg^2}{s^2 m^4}} = m^2 * \frac{kg}{s^2 m^2} = \frac{kg}{s}$$

Dónde:

f_d =viene en m^2

Δp_d =viene en Pa

ρ_0 =viene en $\frac{kg}{m^3}$

b. SALIDA DEL FLUJO DE GAS

Velocidad teórica del combustible a la salida del calibre:

$$w_{tcal} = \sqrt{2\left(\frac{\rho_o - \rho_{cal}}{\rho_c} + g(h_0 - h_{cal})\right)} \quad (2.44)$$

La velocidad real de salida, sin tener en cuenta la contracción del chorro es:

$$w_{tcal} = \varphi_{cal} \sqrt{\frac{2}{\rho_c} (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)} \quad (2.45)$$

Dónde:

φ_{cal} =es el coeficiente de velocidad que considera las pérdidas de salida del combustible

Considerando la contracción del chorro α_{ch} la cantidad de combustible que pasa por el calibre (en $\frac{kg}{s}$) es:

$$\alpha_{ch} = 0,97-0,98$$

$$G_c = \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2\rho_c (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)}$$

$$G_c = m^2 \sqrt{\frac{kg}{m^3} \left(\frac{kg}{s^2 m} - \frac{mkgm}{s^2 m^3} \right)} = m^2 \sqrt{\frac{kg^2}{s^2 m^4}} = \frac{m^2 kg}{m^2 s} = \frac{kg}{s}$$

M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil, editorial MIR Moscú 1982, Pág. 281

Entonces tenemos Coeficiente de μ_{cal}

Depende de la estructura del calibre, así como la caída de presiones que condiciona la salida del combustible, además varía bruscamente al cambiar la relación entre el rango del calibre (l) y el diámetro (d).

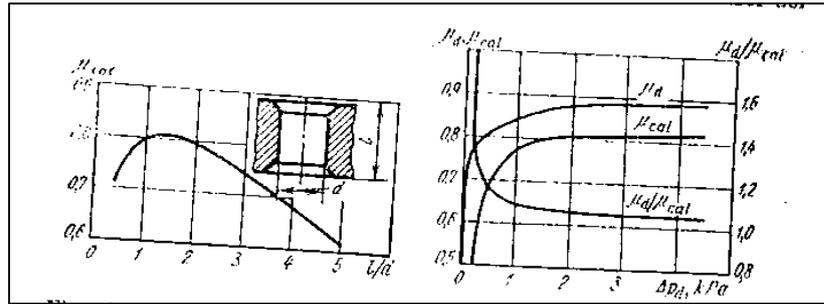


Figura 2.14. Variación de coeficiente en función de la relación l/d

Fuente: M.S.JÓVAJ, Motores del Automóvil.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2.46)$$

$$G_c = \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2\rho_c(\Delta p_d - \Delta h_{pc} \cdot g)} * N \quad (2.47)$$

$$G_c = m^2 \sqrt{\frac{kg}{m^3} \left(\frac{kg}{s^2 m} - \frac{mkgm}{s^2 m^3} \right)} = m^2 \sqrt{\frac{kg^2}{s^2 m^4}} = \frac{m^2 kg}{m^2 s} = \frac{kg}{s}$$

c. Flujo combinado de combustible y aire:

Partiendo de los valores que se calculan de G_a y G_c en base de las anteriores ecuaciones puede así determinarse el **coeficiente de exceso de aire**:

$$\alpha = \frac{G_a}{G_{c lo}} = \frac{\mu_d f_d \sqrt{2\rho_o \Delta p_d}}{l_o \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2\rho_c(\Delta p_d - \Delta h_{pcg})}} \quad (2.48)$$

En los motores de combustión interna el oxígeno necesario para la combustión se encuentra en el aire que se introduce al cilindro durante el proceso de admisión. Considerando que el contenido de masa de oxígeno en el aire es aproximadamente del 23% y un volumen del 21%, obtendremos la cantidad teórica del aire necesaria para la combustión de 1 Kg. de combustible.

En donde:

$$l_o = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right) \quad (2.49)$$

O en kmol.

$$L_o = \frac{1}{0.21} \left(\frac{C}{21} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32} \right) \quad (2.50)$$

$$relación\ aire - glp = \frac{G_a}{G_c} \quad (2.51)$$

2.12. Marco legal vigente

Las políticas nacionales el apoyo al uso de bio-combustibles por medio del Decreto Ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, 15 Diciembre 2004. En él se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de bio-carburantes como

componentes de los combustibles que se consumen en el país. El Decreto Ejecutivo No. 146, R. O. No. 39, 12 de marzo de 2007, se crea el Consejo Nacional de Biocombustibles, además serán quienes establecerán políticas y mecanismos de apoyo preferencial a los sectores agrícola y agro industrial, especialmente a los pequeños productores, y regulará el precio del biocombustible de que se trate.

Art. 15, en lo referente a los derechos de Buen Vivir hace mención que; El Estado promoverá en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria ni afectará al derecho al agua. Y

Art. 413 El estado promoverá la eficiencia energética el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derechos al agua.

a. Biodiversidad y recursos naturales

Sección 1ra. Naturaleza Y Ambiente

"Art.395 Principios ambientales.- La constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1.- El estado garantiza un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2.- Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3.- El estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4.- En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, estas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza."

"Art. 396.- Políticas, responsabilidad y sanción por daños ambientales.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

La responsabilidad de los daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Las acciones legales para perseguir y sancionar los daños ambientales serán imprescriptibles."

"Art. 397.- Compromiso del Estado en caso de daños ambientales.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para

garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el estado se compromete a:

Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la Prueba sobre la existencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado..."

2.13. Definición de Términos Básicos

Hacia un alto sentido de la investigación es preciso puntualizar la terminología y nomenclatura utilizada, que permitirá a las personas interesadas en el presente trabajo vislumbrar la necesidad del proceso de investigación, el diseño ejecutado y la perspectiva a lograr en función de disminuir el impacto que genera el no aprovechar este tipo de energía.

- **Biogás:** Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismo y otros factores, en ausencia de oxígeno
- **Estiércol:** se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos
- **Metano:** Es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química CH_4
- **Digestor:** Es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar, en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

- **Biol:** es un abono orgánico líquido que ayuda al enraizamiento, desarrollo del follaje, y aumento del vigor en las plantas
- **Biomasa:** Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.
- **Masa volátil:** Es el porcentaje de masa orgánica que contiene la biomasa, específicamente es la cantidad de materia que se degrada y se transforma en biogás.
- **Polisacáridos:** Son biomoléculas formadas por la unión de una gran cantidad de monosacáridos. Se encuentran entre los glúcidos, y cumplen funciones diversas, sobre todo de reservas energéticas y estructurales
- **Acidogénesis:** Es un proceso microbiano anaerobio que genera ácidos orgánicos volátiles sin intervención de aceptores o donantes electrónicos externos.
- **Metanogénesis:** es la formación de metano por microbios
- **Gasómetro:** Instrumento para medir el volumen de los gases.
- **Alcalinidad:** Se puede definir como una medida de su capacidad para neutralizar ácidos.
- **Rumiantes:** es un animal que digiere alimentos en dos etapas: primero los consume y luego realiza la rumia.
- **Espectro:** Es la amplitud de la serie de especies microbianas sobre las que es terapéuticamente activo un medicamento.
- **Licuefacción:** es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido, por acción de la temperatura y el aumento de presión, llegando a una sobrepresión elevada, hecho que diferencia a la licuefacción de la condensación
- **Enzima:** son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles.

- **Endoenzimas:** Enzima que destruye los enlaces de las sustancias polímeros en el interior de la molécula, tales como la α -amilasas y las nucleasas de restricción.
- **Ambiente aeróbico:** los organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno diatómico, mientras que si lo necesitan se denominan aerobios estrictos
- **Ambiente anaeróbico:** Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.
- **Termofílico:** Son organismos vivos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura relativamente altas, por encima de los 45°C
- **Los sólidos totales:** Representan la porción seca de la materia prima.
- **Los sólidos volátiles:** Son la porción de materia orgánica volátil contenida en los sólidos totales
- **Poder calórico:** cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible (Mcal/kg).
- **Poder calorífico superior (PCS):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.
- **Poder calorífico inferior (PCI):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.
- **Estequiométrica:** la relación aire combustible, que determina la cantidad de oxígeno ideal para que se produzca una combustión completa.
- **Dióxido De Carbono (CO₂):** Es un gas incoloro, denso y poco reactivo.
- **Monóxido De Carbono (CO):** gas tóxico, inodoro e incoloro.

- **Volumen de carga:** Representa el volumen total de material orgánico diluido con el agua necesaria, ya listo para ser introducido al digestor.
- **Volumen del digestor:** se lo define como el espacio ocupado por la biomasa en digestión, representa el volumen efectivamente útil para realizar la biodigestión anaeróbica, su capacidad está determinada por el consumo de biogás necesaria para satisfacer las diferentes necesidades energéticas, o en función de la cantidad del sustrato.
- **Tiempo de retención:** indica el tiempo conveniente que debe dejarse el material dentro del digestor, para que en las condiciones ambientales del lugar pueda degradarse. Se calcula dividiendo el volumen útil del digestor por el volumen de la carga diaria, en consecuencia se expresa el valor en días
- **Volumen de gasómetro:** es el valor máximo de almacenamiento de biogás que puede contener este reservorio y su capacidad dependerá de las necesidades particulares y está en función del consumo diario, es decir del uso particular del biogás generado.
- **Velocidad de carga:** representa la cantidad de materia orgánica que se introduce por unidad de volumen de digestor por día (Kg sólidos m³/día). Este parámetro determina la capacidad de tratamiento de residuos del digestor y el rendimiento en biogás en función de la temperatura.
- **Hidrocarburos No Quemados (HC):** hidrocarburos que resultan de la combustión de carbono en partes por millón de partes.
- **El Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE):** entidad técnica oficial de la acreditación en el Ecuador, La Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad es reformada por el Código Orgánico de la Producción, Comercio

e Inversiones, publicado en el Registro Oficial No. 351 del 29 de diciembre de 2010. Entre las principales reformas se adscribe el OAE al Ministerio de Industrias y Productividad MIPRO y se crea el Consejo Técnico Consultivo del OAE

2.14. Conclusión del capítulo

De fundamentar teóricamente la presente investigación se determinó la importancia del aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa y su posterior uso como combustible, particularmente la excreta de los bóvidos como fuente potencial de energía que puede ser utilizado en diferentes actividades domésticas e industriales como por ejemplo en motores de combustión interna.

CAPITULO 3

3. METODOLOGÍA

En el capítulo III se desarrolla la metodología para la realización de la investigación: el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar.

3.1-Diseño de la investigación

Se refiere a los tipos de investigación que se adoptan en la tesis, se recogen estructuralmente los elementos metodológicos generales que describen las distintas etapas llevadas a cabo.

3.2. Modalidad de la investigación

La presente investigación tiene por objetivo “evaluar la potencialidad de la producción de biogás en la florícola VIBRAFLOWERS y diseñar tecnológicamente un mezclador para el aprovechamiento eficiente del metano en motores de combustión interna”. La misma se encuentra enmarcada entre las investigaciones de naturaleza científica, pues su elaboración es necesaria el uso de información teórica e histórica.

La investigación es factible y se desarrolló un protocolo de simulación y pruebas, el desarrollo de prototipo de biodigestor que se adapte a las condiciones del lugar de estudio y su posterior uso de biogás justificada teóricamente con la propuesta del diseño tecnológico de un mezclador adaptado al sistema de alimentación en un motor de combustión interna TOYOTA 5R, de tal manera que se va a optimizar la relación aire – combustible lo que permitirá una combustión casi completa a partir de la relación estequiometría de dicha mezcla, solucionando el problema de la falta de aprovechamiento de los desechos orgánicos producidos por la agricultura, ganadería y la industria como fuente potencial de generación de energía alternativa reflejándose en el beneficio trascendental a la sociedad ecuatoriana.

La propuesta del diseño tecnológico del mezclador va a reunir normas, programas, tecnologías, métodos y es decir, determinará sus bondades.

3.3. Metodología (experimental o no experimental)

La metodología a utilizar es la no experimental ya que se trabajará mediante la recopilación de información netamente científica para determinar la potencialidad del sector en base a su producción diaria de excreta de vaca y manipulación de variables de diseño para el mezclador para establecer la utilidad del uso del biogás como combustible alternativo en motores de combustión interna, mediante pruebas de laboratorio en LAB-CESTTA y campo de funcionalidad tanto del biogás como del mezclador en el funcionamiento del motor Toyota 5R en pruebas de campo.

a. Simulación.

La investigación experimental se basó en la simulación del diseño del mezclador en programas CAD es relevante y necesaria, tienen un valor propio y debe llevarse a cabo la validación del fundamento teórico y la elección sobre la base de los datos arrojados de dicha simulación y diseño específico.

3.4. Unidad de Estudio (población y muestra).

La población, es el número de bovinos que tiene la florícola VIBRAFLOWERS que para el estudio 98 reses con un peso promedio de 412 kg, limitado por el ámbito del estudio a una muestra de 86 vacas disponibles para la aportación de excreta, debido a que 12 bovinos por mes están en proceso de vacunación esta información suministrada será una gran herramienta para llevar a cabo esta investigación y para conocer las tendencias de la haciendas con un valor promedio entre 100 y 120 reses.

La florícola VIBRAFLWERS cuenta con 86 vacas productoras de leche para la aportación de excreta, de tal manera que se determinará cual es la potencialidad de producir biogás necesario para el encendido de un motor de combustión interna.

De tal manera que se propondrá un prototipo de digestor de acuerdo a la cantidad de excreta por el ganado de la florícola, condiciones del lugar y necesidades propias de los dueños del lugar de estudio que ayude con las requerimientos particulares de la misma y su aplicación particular, como carburante de uso automotriz de óptimo desempeño, que permita suplir el uso diario de una bombona de GLP, permitiendo

aprovechar el potencial de la hacienda redituando los parámetros de costo y beneficio de producción de biogás.

El uso de biogás natural, generado a través del estiércol de ganado vacuno, como combustible, encenderá un motor de combustión interna, de tal manera de abaratar costos y también reducir el impacto ambiental que genera el no utilizar esta materia orgánica (biomasa), siendo capaz de ser usado en una aplicación específica.

3.4.1. Tipo de materia prima.

La materia prima fermentable será la de vacas lechera para la investigación, pero se debe recalcar que se existe una amplia variedad de materias que se pueden usar para la producción de biogás como los son los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico. Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En cuanto a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados.

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas. En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se encare un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se emplazará el digestor.

A continuación se presenta la producción de estiércol por especie y el porcentaje de metano según (Alvarez, “Producción anaeróbica de biogás”, 2004, pág. 45. Además el tiempo de retención. Para el presente proyecto se utilizará el de ganado vacuno de acuerdo al peso.

Tabla 3.1. Producción de estiércol por especie.

Especie	Peso Vivo	Kg. Estiércol/Día	%CH₄
Cerdos	50	4,5-6	65-70
Vacunos	400	25-40	65
Equinos	450	12-16	65
Ovinos	45	2.5	63

Tabla 3.2. Tiempo de retención y materia prima.

Materia Prima	TRH
Estiércol Vacuno Liquido	20-30 Días
Estiércol Porcino Liquido	15-25 Días
Estiércol Aviar-Liquido	20-40 Días

Tabla 3.3. Mezcla para la producción del biogás

Agua	Excreta animal fresca
1 - 1,5 litros	1 kg - 1 litro
La alimentación debe hacerse regularmente con una proporción volumétrica de una unidad de estiércol por una de agua, lo que equivale a 60-80 kg de estiércol (una carretilla). La proporción de la alimentación puede variar de acuerdo con las condiciones del estiércol utilizado. Si es muy seco y denso, puede llegar hasta tres litros de agua por kilogramo o litro de estiércol.	
NOTA	
La alimentación debe realizarse preferentemente antes de las dos de la tarde, para aprovechar el calor producido por el sol. El pH es un parámetro que aporta información importante sobre el buen funcionamiento: debe estar entre 6,5 y 8,5. Si el pH es más bajo, alimente el digestor con una solución de lechada de cal, hasta restablecerlo.	

Tabla 3.4. Peso de referencia

Categorización en el programa GTM	Peso de referencia	Categorías de referencia
Terneros /Terneras	Terneros hasta 160kg Terneros de 160 a 200 kg	Promedio de la categoría
Novillos 1 a 2 años	Novillos de 201 a 240kg	De la categoría
Novillos 1 a 2 años	Novillos 241 a 300kg	De la categoría
Novillos más de 3 años	Novillos 301 a 360kg Novillos más de 360 kg	Promedio de la categoría
Vaquillonas 1 a 2 años	Vaquillonas de 201 a 240 kg	De la categoría
Vaquillonas más de 2 años	Vaquillonas más de 241kg	Dela categoría
Vacas invernadas	Vacas de invernada Vaquillonas y vacas Preñadas	Dela categoría vaca de invernada

Tabla 3.5. Composición media de estiércoles frescos de diferentes animales domésticos (como porcentaje de la materia seca).

Nutriente	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
Materia orgánica (%)	48,9	45,3	52,8	63,9	54,1
Nitrógeno total (%)	1,27	1,36	1,55	1,94	2,38
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅ , %)	0,81	1,98	2,92	1,82	3,86
Potasio (K ₂ O, %)	0,84	0,66	0,74	0,95	1,39
Calcio (CaO, %)	2,03	2,72	3,2	2,36	3,63
Magnesio (MgO, %)	0,51	0,65	0,57	0,45	0,77

Tabla 3.6. Salinidad y reacción del medio en estiércoles de diferentes animales domésticos.

Propiedad	Vacunos	Porcinos	Caprinos	Conejos	Gallinas
pH	7,6	7,3	8,2	7,5	7,5
CE (MMHOS/cm)	6,3	9,4	12	8,9	14,2

Tabla 3.7. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de bovinos

Tipo de Bovino	Peso del cuerpo, Kg	Leche, kg/día	Ingesta de MS, kg/día	Estiercol, kg/día
Vaca de lactanc. Promedio	631	30	217	68
Vaca de alta produc	590	45	245	80
Vaca seca	755	0	104	39
Vaquillona, menos 1 año	150	0	34	12
Vaquillona, mayor 1 año	440	0	83	24

3.5. Métodos y técnicas a ser empleadas.

La recolección permitió acceder a los datos requeridos para conocer más sobre la investigación, a fin de alcanzar los objetivos específicos propuestos para la producción y uso del biogás para el aprovechamiento energético de los desechos producto de la excreta de los bovinos del lugar.

3.5.1. Observación Directa

El objeto es tener un registro sistemático en la búsqueda de los datos que necesario para resolver el problema de investigación, que es la falta de aprovechamiento de excreta animal como fuente de energía. Se realizó la investigación de campo de la cual se obtuvo como resultado el peso de los bovinos, de acuerdo a datos de registros proporcionados por los dueños de la florícola, el cual es de fundamental importancia para determinar la potencialidad del lugar para la producción del biogás en función del peso de las 86 reses del lugar de tal manera que se obtuvo el peso promedio de producción el que se detalla a continuación.

Tabla 3.8. Control del peso de las reses al 03 de agosto del 2012

Florícola VIBRAFLOWERS		
Resumen del Control Del Peso De Las Reses Al 03 De Agosto Del 2012		
Número de reses	Código De Registro De las Reses (Arete)	Peso (Kg.)
98	2191	
PESO PROMEDIO		412,44

3.6. Operacionalización de las variables

Evaluación de la producción de biogás a partir de la excreta animal en la FLORICOLA VIBRAFLOWERS para la selección de prototipos de biodigestor y diseño tecnológico de un mezclador que mejorará el sistema de alimentación en un motor de combustión interna.

Tabla 3.9. Operacionalización de las variables

Variable independiente	Variable dependiente
Uso del biogás en motores de combustión interna	Desechos orgánicos utilizados para la producción de biogás

Variables	Categoría	Indicador	Instrumentos
Uso del biogás en motores de combustión interna (M.C.I)	Metodológica	Adaptaciones mecánicas M.C.I.	Manual técnico de motores alimentados con metano
	Técnica	Ajustes del M.C.I: Calibración al M.C.I Puesta a punto del M.C.I. Análisis de gases al M.C.I	Encuestas Entrevistas Manual de Herramientas especiales
	Experimental	Consumo de combustible M.C.I. Análisis térmico M.C.I. Mantenimiento requerido en M.C.I. alimentados con Biogás	Equipos de prueba de emisiones Dinamómetro. Software de modelación matemática
Desechos orgánicos utilizados para la producción de biogás	Ambiental	Porcentaje de influencia de la contaminación producida por desechos orgánicos Normas Técnicas Ecuatorianas o	Datos históricos.

	Control Legal Tecnológica	internacionales de emisiones. Normativa actual Selección y recolección de los desechos orgánicos.	Tolerancias de emisiones. Decretos ejecutivos y/o constitución. Análisis químico de composición del biogás en función de la materia prima utilizada para la producción.
--	---	---	---

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analiza e interpreta los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación. Las derivaciones se orientarán a detallar los cálculos para el diseño de prototipo de digestor que se adapte a las condiciones del lugar como son: el espacio y la potencialidad de producción de biogás que está en directa dependencia del número de ganado existente y su peso.

4.1. Análisis para el diseño del prototipo de digestor

Se realizó la investigación de campo en la florícola VIBRAFLOWERS de tal manera que se obtuvo datos importantes, que a partir de la información bibliográfica se analizará toda la información pertinente al tema, considerando parámetros de diseño del digestor como: dimensiones, cálculos, planos, tipo de biomasa, etc.

4.1.1. Antecedentes

El prototipo del digestor a proponer y que mediante el análisis de los datos obtenidos de la investigación de campo se adapta a las características propias del lugar es un digestor chino de tapa flotante. La tapa será de acero ASTM A36 para conseguir que el recipiente brinde resistencia y conseguir un tiempo de vida útil prolongado.

Se partirá de la necesidad de obtención de biogás para suplir la utilización de tanques de gas convencional y posteriormente conocer que cantidad de biogás a producir y por ende la cantidad de biomasa que se debería colocar a diario para lograr el objetivo.

4.2. Diseño del digestor y sus componentes

Se calculará el volumen de metano que se genera en una determinada cantidad de estiércol, para luego relacionarla con la cantidad que necesitaremos para las actividades propias de la florícola y sus aplicaciones.

4.2.1. Cálculo de volumen de metano producido en función de cantidad de excreta.

Para iniciar es necesario conocer el peso promedio de las vacas de acuerdo a la cantidad de estiércol diaria producida que se obtuvo de la investigación de campo. Por lo que es necesario determinar la cantidad de metano a producir, a partir de la cantidad de materia prima a procesar que se obtiene de la siguiente ecuación.

$$E = Wa \frac{Ea \text{ Kg}}{1000 \text{ kg de animal}}$$

La Cantidad total de estiércol promedio en Kg por cada 1000Kg de peso del animal.

La cual es necesaria obtener de la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Estiércol promedio en Kg por cada 1000Kg de peso

Fuente	W (Kg)	Ea (Kg)	Sta (Kg)	Sva (Kg)	SV/ST (%)
Vaca	500	45	12	10	83,33
Toro	500	28	8,5	7,2	84,71
Becerro	40	62	5,2	2,3	44,23
Cerdo	70	84	11	8,5	77,27
Oveja	60	40	11	9,2	83,64
Chivo	50	41	13	0	0,00
Caballo	400	51	15	10	66,67
Gallina	2,2	85	22	17	77,27
Roedor	2	64	16	12	75,00
Pavo	8	47	12	9,1	75,83
Pato	3	110	31	19	61,29

Adoptando entonces dichos valores, y tomando en cuenta que se usará estiércol de vaca se tiene:

$$E=22,5 \text{ Kg/animal}$$

$$ET= 1935 \text{ Kg}$$

$$ST = 6 \text{ Kg/dia}$$

STa= Contenido promedio de sólidos totales en kg por cada 1000kg de peso animal.

Tabla 4.2. Promedio de sólidos totales

STa=	12
ST=	6

$$SV = 5 \text{ Kg/día}$$

SVa= Contenido promedio de sólidos volátiles en kg por cada 1000kg de peso animal.

Tabla 4.3. Promedio de sólidos volátiles

Sva=	10
SV=	5

4.2.2. Volumen de metano producido

Se refiere al volumen de metano producido por masa de sólidos volátiles. En la Tabla 4.4 se pueden encontrar valores referenciales en la producción de metano.

Tabla 4.4. Potencial de producción de metano de varios residuos

RESIDUO ORGÁNICO	$P_{CH_4} \left[m^3 \cdot \frac{CH_4}{Kg} \cdot SV \right]$
Res	0,35
Cerdo	0,45
Gallina	0,39
Aguas negras	0,406

Para una temperatura promedio de 30°C, y remplazando en la ecuación 4.16 se tiene un crecimiento de metano por día de:

Tabla 4.5. Crecimiento de metano por día

Para T= 30	°C
Uo= 0,261	m³/día

El valor de la descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo se lo calcula en función de los sólidos volátiles (SV).

Tabla 4.6. Descomposición de los sólidos volátiles

Ko=	0,6009	<i>en función de SV</i>
-----	--------	-------------------------

Remplazando los valores se encuentra el volumen de metano.

Tabla 4.7. Volumen de metano.

$V_{CH_4} =$	1,608	$[m^3 \cdot CH_4/día]$
--------------	-------	------------------------

1000kg de animal - 5kg /día (SV)- 1.608 (VCH4)

43000kg de animal (TOTAL) - 69.16 m³(VCH4)

4.3. Volumen del biodigestor (V_D)

El estiércol contiene un porcentaje de agua entre el 80 y 90%, por tanto se puede asumir que 1kg de residuo equivale a 1 litro de agua. Pero dependiendo de la fuente proveedora se puede tener una relación.

Tabla 4.8. Relación estiércol-agua.

Animal	Relación
Bobino estabulado	1:1
Bobino semi estabulado	1:1
Porcinos peso >50Kg	1:1-2-3
Aves peso 2Kg	1:1
Equino	1:1-3

Nota: La cantidad que entra en el digestor será la suma de agua más estiércol.

$$V_D = 59.55 m^3$$

4.4. Volumen real del biodigestor y campana

El biodigestor deberá contener la mezcla de sustrato, agua y gas, tomando en cuenta que el biodigestor será del tipo Plug Flow (75% del volumen debe estar constituido por la fase líquida y 25% debe contener la fase gaseosa). Para ello el cálculo se lo realiza de la siguiente manera:

$$V_C = 14.88 m^3$$

Por tanto el volumen real del digestor (V_{DR}) será:

$$V_{DR} = 74.43 m^3$$

4.5. Dimensionamiento del biodigestor:

Dimensiones del tanque: Altura = 2.08m, Radio = 3.39m, Volumen del Tanque = 88.975 m³

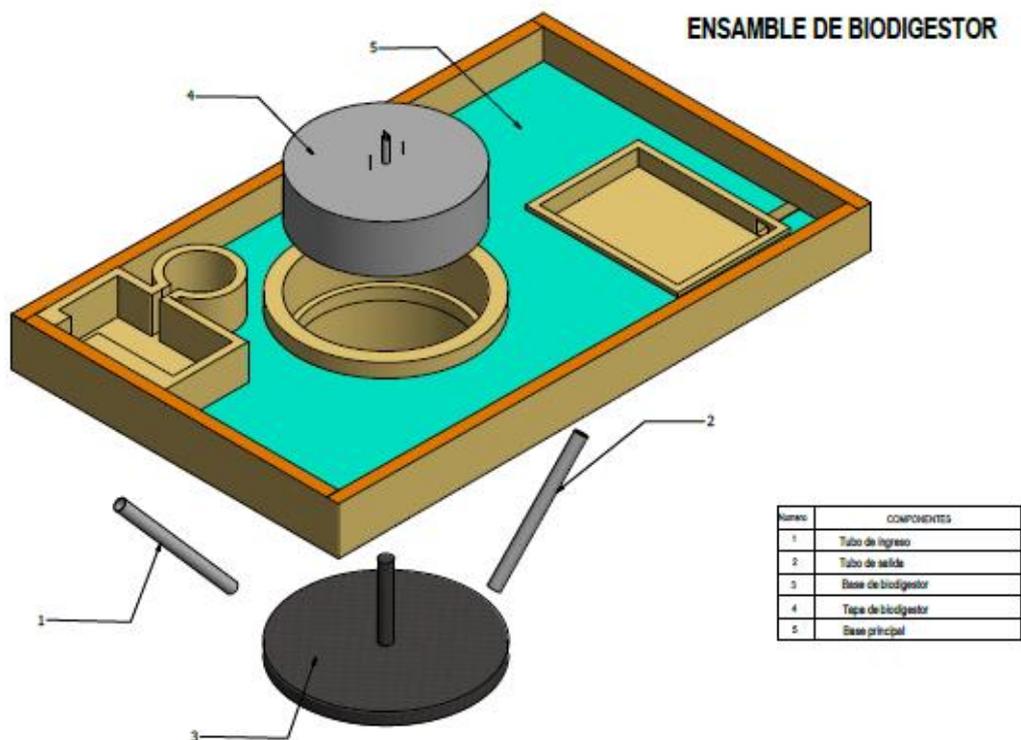


Figura 4.1. Ensamble del prototipo del biodigestor.

Fuente: Elaboración propia.

Observando los datos anteriores podemos definir que el prototipo del digestor es real para el número de reses y se adapta de una manera perfecta a las condiciones del lugar, por lo cual se considera para los parámetros de diseño del mismo. De tal manera de aprovechar el potencial energético de la florícola.

4.6. Cálculo de la presión hidrostática en el interior del tanque

Para seleccionar el espesor del tanque del biodigestor, es necesario conocer la presión interna que se ejerce tomando en cuenta que el 75% del tanque aloja el líquido y el 25% el biogás. De tal manera que se calcula la masa líquida del sustrato en Kg, con la expresión a continuación indicada:

$$mL = 59550 \text{ kg}$$

Tabla 4.9. Datos de la masa de líquido del sustrato.

MASA DE LIQUIDO DEL SUSTRATO		
	mL=ρH2O(VL)	
MI	Masa de líquido del sustrato (Kg)	59550,00
VL	Volumen del sustrato (m3)	59,55
ρH2O	Densidad del sustrato (Kg/m3)	1000,00

Para el cálculo de la máxima presión que ejerce sobre el digestor, se procederá de la siguiente manera.

$$P_1 = 10299.5 \text{ Pa}$$

Tabla 4.10. Datos obtenidos de la presión hidrostática

PRESION HIDROSTATICA EN EL FONDO DEL RECIPIENTE			
	P1=P0 + ΔP	P1=P0 + σghL	Ph=P0+ρH2O(g)(hL)
P1=Ph	Presión hidrostática en el fondo del recipiente (Pa)		10299,5
P0	Presión Inicial		980
ΔP	Variación de presión respecto a la altura del fluido (Pa)		
hL	Altura del líquido (m)		1,05
G	Gravedad (m/s2)		9,81

- a. **Total de estiércol producido por las 86 vacas en un día:** 213,28 kg
- b. **Relación estiércol – agua:** 1

El peso de un litro de agua es de un kilogramo por lo que para efectos de cálculo se considera que el total de estiércol utilizable equivale a 213.28 LITROS/ DÍA.

4.7. Volumen líquido diario (VLD)

$$V_{LD} = 426.56 \frac{l}{día}$$

El **TIEMPO DE RETENCIÓN** del efluente se estima en 30 Días.

4.8. El Volumen Líquido (VL) Del Digestor

Para retener el efluente durante en relación al periodo de tiempo será de:

$$V_L = 12796.8 \text{ l} = 12.797 \text{ m}^3$$

Tabla 4.11. Datos obtenidos para Análisis de potencial de energía.

Poder Calorífico		Volumen (Kg) ¹		Gas / día		Consumo por semana		Consumo de energía (Kcal/semana)
GLP	10830 ²	Kcal/Kg.	15	0,5	Tanque	52,5 ²	Kg / semana	568575
Biogás	5500	Kcal/m ³	---	15	m ³	105	m ³ / semana	577500

4.9. Producción de biogás diario (PB/ Día)

Se considera que 1 Kg de SV produce 0.27M3 de Biogás (PB)

$$P_B = 1.38 \frac{m^3}{dia}$$

Para efectos de cálculos se considera que: 1 m³ de biogás = 5.500 kcal y 1 kwh = 860 kcal, entonces 1.38 m³ producen 7590 kcal y esto produce **8.82 kwh**

Tabla 4.12. Resumen de cálculos de dimensionamiento.

Descripción	Ecuación/ tabla	Unidad	Valor calculado	Valor obtenido
Ea (Cantidad total de estiércol promedio)	Tabla 4.1	Kg/animal	-	45
Wa (Peso total animales)		Kg	-	500
E(cantidad estiércol diaria)	2.1	Kg/animal	22.5	-
ET (Producción excreta)	2.2	Kg	1935	-
ST (Sólidos totales)	2.3	Kg/día	6	-
Sta (Promedio sólidos totales)	Tabla 4.2	Kg/día	-	12
Sv (Sólidos volátiles)	2.4	Kg/día	5	-
Sva (Promedio sólidos volátiles)	Tabla 4.3	Kg/día	-	10
VCH4 (Volumen metano)	2.5	m³/día	1.608	-
VD (Volumen digestor)	2.9	m³	59.55	-
Vc (Volumen campana)	2.10	m³	14.88	-

VDR (Volumen real biodigestor)	2.11	m³	74.43	-
ml (Presión hidrostática)	2.12	Pa	595	-
P1 (Presión máxima)	2.13	Pa	10299.5	-
VL (Volumen líquido diario)	2.18	Lt/día	426.56	-
PB (Producción de biogás)	2.19	m³	1.38	-

4.10. Conclusión del capítulo

Se fundamentó teóricamente el diseño del prototipo del digestor para la florícola, de tal manera que se consideró una serie de variables como: número de reses para la aportación de excreta que es de 86 vacas, temperatura, días de retención de 30 días, peso promedio de los bovinos de 500 kg entre otros.

Se determinó que el 75% del volumen del digestor debe estar constituido por la fase líquida y 25% de la fase gaseosa, por lo que el volumen de la campana es de 14.88 m³ y el volumen del digestor de 74.43 m³. El volumen del tanque será de 88.975 m³

CAPITULO 5

5. LA PROPUESTA

5.1- Título de la propuesta

Diseño tecnológico de un mezclador para aprovechar el metano en motores de combustión interna.

5.2- Justificación de la propuesta

Es preciso la propuesta del diseño tecnológico de un mezclador para aprovechar el metano (biogás) en motores de combustión interna de una manera eficiente que dosifique y regule la relación aire – combustible en proporciones que se asemejen a la estequiometría, de tal forma que el aprovechamiento energético del combustible generado por las descomposición anaeróbica de la biomasa de la florícola sea de una manera óptima al alimentar de carburante al motor Toyota 5R. Disminuyendo gases producto de la combustión utilizando combustibles tradicionales, renovando el estado de vida de los habitantes y propietarios de la florícola, el mezclador tendrá las siguientes características:

- Parte de la instalación del sistema de alimentación del motor Toyota 5R.
- Dosificar proporcionalmente el carburante con el aire de aspiración.
- Constituyéndose un verdadero carburador y su construcción y correcto posicionamiento de Fácil adaptación, de tal manera de Colocarse encima del carburador. Se ubique entre el filtro del aire y el carburador.
- Garantizar una relación masa de aire por masa de combustible.
- La dosificación, se produce porque la caída de presión en el tubo de Venturi atrae una cierta cantidad de gas, vinculada a la pérdida de presión en relación al caudal de gas
- Su costo deberá ser de acuerdo al medio.

5.3- Objetivo de la propuesta

Aprovechar eficientemente la biomasa de la excreta de los bovinos existente en la florícola VIBRAFLOWERS como fuente de energía a partir de un biocombustible en un motor de combustión interna.

5.4- Estructura de la propuesta

La estructura de la propuesta del diseño tecnológico de un mezclador para aprovechar el metano en motores de combustión interna para el uso con biogás está basada en fundamentar teóricamente la adaptación y funcionalidad en el motor Toyota 5R e indicar el proceso de construcción.

5.5- Desarrollo de la propuesta

Para la realización de la propuesta se ejecute es fundamental referir los siguientes recursos:

A- RECURSO MATERIAL:

Tabla 5.1. Desglose de los costos fijos para la construcción prototipo biodigestor

Ord	Detalle	Cantidad	Unidad	Costo unitario \$	Costo \$
1	Bloques	1000	U	0.25	250
2	Arena	1	Volqueta	40	40
3	Ripio	1	Volqueta	35	35
4	Cemento	100	Quintales	7.2	72
5	Puntales	4	U	4	16
6	Tiras de madera	20	U	0.3	6
7	Polietileno	7	U	1.8	12.6
8	Tubería de drenaje de 4 in	2	U	14	28
9	Codo de 4 in X 45 grados	2	U	5	10
10	Tubo del efluente de 4 in	1	U	12	12
11	Codo de 2 in X 90 grados	1	U	5	5
12	Tubería para salida de gas de 1 in	1	U	25	15
13	Válvulas de Paso	4	U	15	60
14	Manómetro	2	U	30	60
15	Termómetro de vidrio, apre. 1°C	1	U	45	45
16	Válvula check	1	U	55	55
17	Bomba de gas	4	U	15	15
18	Manómetro	1	U	2,5	2.5
19	Tubería PVC de agua de ½"x5m	1	U	2	2
20	Teflón ½"	1	U	11	11
21	Codos de ½	1	U	30	30
22	Mechero Bunsen	1	U	45	45
TOTAL					887.1

Tabla 5.2. Desglose de los costos fijos para la construcción del mezclador

COSTOS INDIRECTOS			
	Costo	Cantidad	Total
Transporte	2\$/galón	10	20
COSTOS DIRECTOS			
Materia Prima			
Bloque de Aluminio 1060	11.25	4	45
Boquilla	5	2	10
Lijas	0,5	4	2
Manufactura			
TOTAL			287

B- RECURSO HUMANO:

Se considera la mano de obra necesaria para la manufactura del mezclador.

Tabla 5.3. Costo de mano de obra para la construcción del mezclador.

CANTIDAD	RECURSO	VALOR \$/ DÍA
1	Tornero	210

A. Responsables de la implementación

Tabla 5.4. Personal involucrado con su grado de responsabilidad

RESPONSABLES DE LA IMPLEMENTACIÓN		
AREA	RESPONSABLE	ACTIVIDAD
DIRECCIÓN TECNICA	Ing. Leonidas Quiroz	Coordinar la cotización y adquisición de los elementos de construcción del mezclador
DIRECCIÓN FINANCIERA	Ing. Leonidas Quiroz	Contar con el financiamiento respectivo para la construcción y pruebas de funcionalidad
SUPERVISOR Y EVALUADOR	MSc. Eduardo Tererro.	Verifica el avance de la implementación del mezclador en el motor Toyota 5R y realiza pruebas preliminares de funcionalidad según el diseño propuesto.

Elaborado por: Ing. Leonidas Antonio Quiroz Erazo

5.6. Dimensionamiento del mezclador

La depresión en la garganta del mezclador varía en función de la posición de la válvula de mariposa del carburador y de la velocidad del motor.

El gasto de aire que pasa por cualquier sección, incluida la sección $x - x$ se mantiene constante y se expresa por la fórmula:

$$Ga = w_x f_x \rho_x = \text{constante}$$

El aire puede considerarse como un fluido incompresible, cuya densidad se mantiene constante. Para esta suposición.

$$\rho_0 = \rho_{ENT} = \rho_{SALI} = \rho_d$$

Dedución:

$$Ga = w_x f_x \rho_x$$

Para el cálculo determinado a ralentí = 800 rpm

“Según datos experimentales obtenidos al investigar motores de automóviles, para la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es $w_{ad} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$ ”

Para datos de cálculo tenemos:

$$w_{ad} = w_{SAL} = 50 \text{ m/s}$$

$$\text{diametro de entrada} = d_{ENT} = 0,041 \text{ m}$$

$$\text{diametro de difusor} = d_d = 0,03522 \text{ m}$$

Para la densidad del aire: $\rho_o = 0,883 \text{ kg/m}^3$

$$w_d = \frac{w_{SAL} \times d^2_{SAL}}{d^2_d}$$

$$w_d = 53,201 \text{ m/s}$$

$$w_{ENT} = \frac{w_{SAL} \times d^2_{SAL}}{d^2_{ENT}}$$

$$w_{ENT} = 36,896 \text{ m/s}$$

5.6.1. Comprobación de cálculo de velocidades

ECUACIÓN DE BERNOULLI Según el principio de conservación de la energía tenemos:

$$E = E_x + E_{P(1-x)}$$

$$\Delta P_d = p_E - p_d = \left[gZ_d + \frac{w^2_d}{2} + \epsilon_{E-d} \frac{w^2_d}{2} - gZ_E - \frac{w^2_E}{2} \right]$$

$$\Delta P_d = 2025,406127 \text{ Pa}$$

La velocidad del aire en la sección $x - x$

$$\mu_d = 0,8$$

El producto del coeficiente de velocidad φ_x por el coeficiente de contracción de chorro α_{ch} se denomina coeficiente de descarga μ_d

Para la sección mínima del difusor:

$$w_d = 53,201 \text{ m/s}$$

$$\rho_o = \frac{P_o}{R_a T_o}$$

$$R_a = \text{constante universal de los gases} = \frac{8314}{\mu_a}$$

$$\mu_a = \text{masa molecular aparente del aire} = 28,89$$

5.6.2. Cálculo de la presión atmosférica tenemos

$$\rho_o = \frac{P_o}{R_a T_o}$$

$$\rho_o = 0,883 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad del aire: } \rho_o = 0,883 \text{ kg/m}^3$$

5.6.3. Área del conducto en el difusor:

$$f_d = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$f_d = 9,74 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$G_a = f_d w_d \rho_d$$

$$G_a = 0,0457659 \text{ kg/s}$$

5.6.4. Comprobación

$$G_a = \mu_d f_d \sqrt{2 \Delta P_d \rho_o}$$

$$G_a = 0,046601 \text{ Kg/s}$$

5.6.5. Salida del flujo de gas

Velocidad teórica del combustible a la salida del calibre:

La velocidad real de salida, sin tener en cuenta la contracción del chorro es:

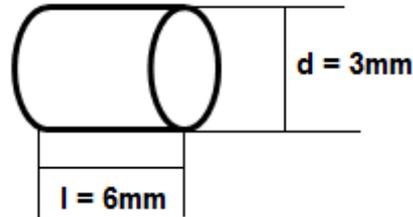
$$w_{tcal} = \varphi_{cal} \sqrt{\frac{2}{\rho_c} (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)}$$

Considerando la contracción del chorro α_{ch} la cantidad de combustible que pasa por el calibre (en kg/s) es: $\alpha_{ch} = 0,97-0,98$

$$G_c = \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2 \rho_c (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)}$$

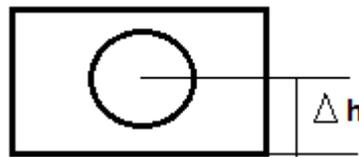
Entonces tenemos:

Coefficiente de μ_{cal} depende de la estructura del calibre, así como la caída de presiones que condiciona la salida del combustible , además varía bruscamente al cambiar la relación entre el rango del calibre (l) y el diámetro (d).



$$\frac{l}{d} = \frac{6\text{mm}}{3\text{mm}} = 2$$

$$\mu_{cal} = 0,8$$



$$\Delta h = 0,003 \text{ m}$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 1264,073522 \text{ Pa}$$

$$f_{cal} = 1,2566 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{Para la densidad del GLP: } \rho_c = 1,7162 \text{ kg/m}^3$$

Entonces:

$$\mu_{cal} = \alpha_{ch} * \mu_{cal}$$

$$\mu_{cal} = \frac{0,8}{0,87} = 0,8247$$

$$w_{cal} = \mu_{cal} \sqrt{\frac{2}{\rho_c} (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)}$$

$$w_{cal} = 40,0685 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$G_c = \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2 \rho_c (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)} * N$$

$$G_c = 0,003352749 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

(VENTURI FIJO)

$$f_{cal} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0,0025\text{m})^2}{4} = 4,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$G_c = \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2 \rho_c (\Delta p_d - \Delta h \rho_c g)} * N$$

$$G_c = (0,8)(4,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2) \sqrt{2(1,7162 \text{ kg/m}^3)((2025.4061 \text{ Pa}) - (0,003 \text{ m})(9,81 \text{ m/s}^2))} * 10$$

$$G_c = 0,0032684 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

(FLUJO VARIABLE)

Flujo combinado de combustible y aire:

Partiendo de los valores que se calculan de G_a y G_c en base de las anteriores ecuaciones puede así determinarse el coeficiente de exceso de aire:

$$\alpha = \frac{G_a}{G_c l_o} = \frac{\mu_d f_d \sqrt{2 \rho_o \Delta p_d}}{l_o \mu_{cal} f_{cal} \sqrt{2 \rho_c (\Delta p_d - \Delta h_{pcg})}}$$

En los motores de combustión interna el oxígeno necesario para la combustión se encuentra en el aire que se introduce al cilindro durante el proceso de admisión. Considerando que el contenido de masa de oxígeno en el aire es aproximadamente del 23% y un volumen del 21%, obtendremos la cantidad teórica del aire necesaria para la combustión de 1 Kg. de combustible.

En donde:

$$l_o = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right)$$

O en kmol.

$$L_o = \frac{1}{0.21} \left(\frac{C}{21} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32} \right)$$

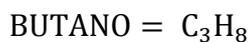
Para el GLP AGIP gas = 70% propano 30% butano



$$C = 12 \times 3 = 36 \text{ Kg}$$

$$H = 1 \times 8 = 8 \text{ Kg}$$

$$\text{total} = 44 \text{ Kg}$$



$$C = 12 \times 4 = 48 \text{ gr}$$

$$H = 1 \times 10 = 10 \text{ gr}$$

$$\text{total} = 58 \text{ gr}$$

Composición masica C = 70% de C en propano + 30% de C en butano

Composición masica C = 33,6 gr o 0,0336 kg

Composición masica H = 70% de H en propano + 30% de H en butano

Composición masica H = 7,002gr o 0,007 kg

Entonces:

$$l_o = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_c \right)$$

$$l_o = 0,633 \text{ kg}$$

$$\alpha = \frac{G_a}{G_c l_o}$$

$$\alpha = 19,71$$

Para la relación aire – glp:

$$G_a = 0,0457659 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G_c = 0,003352749 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{relación aire – glp} = \frac{G_a}{G_c} = 13,65$$

$$\rho_{\text{biogas}} = 0,83 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Área del conducto en el difusor:

$$f_d = 9,74 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$G_a = f_d W_d \rho_{\text{biogas}}$$

$$G_a = 0,043008 \text{ kg/s}$$

$$f_{\text{cal}} = 1,2566 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$G_c = \mu_{\text{cal}} f_{\text{cal}} \sqrt{2 \rho_{\text{biogas}} (\Delta p_d - \Delta h \rho_{\text{biogas}} g)} * N$$

$$G_c = 0,0053075 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

(VENTURI FIJO)

$$f_{\text{cal}} = 4,9 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$G_c = \mu_{\text{cal}} f_{\text{cal}} \sqrt{2 \rho_{\text{biogas}} (\Delta p_d - \Delta h \rho_{\text{biogas}} g)} * N$$

$$G_c = 0,00517406 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

(VENTURI VARIABLE)

Para la relación del biogas:

$$G_a = 0,043008 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$G_c = 0,0053075 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{relación aire – glp} = \frac{G_a}{G_c} = 8.10$$

5.5. Resumen de cálculos finales del mezclador fijo y variable

Tabla 5.6. Cálculos finales del mezclador fijo y variable

N=	Parámetro	Unidad	Valor	Explicación
1	<i>diámetro de entrada</i>	<i>m</i>	0,041	<i>Entrada del mezclador</i>
2	<i>diámetro de salida</i>	<i>m</i>	0,036	<i>Salida del mezclador</i>
3	<i>diámetro de difusor</i>	<i>m</i>	0,035	<i>Garganta del mezclador</i>
4	<i>diámetro de perforación</i>	<i>m</i>	0,035	<i>Perforaciones por donde entra el (GLP O Biogás)</i>
5	<i>densidad del aire</i>	<i>kg/m³</i>	1,22	<i>Densidad medida en la ciudad De Latacunga</i>
6	<i>densidad del GLP</i>	<i>kg/m³</i>	1.7162	<i>Propiedad del GLP</i>
7	<i>densidad del biogás</i>	<i>kg/m³</i>	0,83	<i>Propiedad del Biogás</i>
8	<i>Velocidad de movimiento</i>	<i>m/s</i>	90	<i>Velocidad en la garganta del mezclador</i>
9	<i>Velocidad de entreda</i>	<i>m/s</i>	69.38	<i>Velocidad con que ingresa el aire en la entrada del mezclador</i>
10	<i>Velocidad de salida</i>	<i>m/s</i>	95.21	<i>Velocidad de la mezcla en la salida del mezclador</i>
11	<i>Variación de presión</i>	<i>Pa</i>	8122.94	<i>La presión en la garganta</i>
12	<i>Cantidad de mezcla aire – GLP</i>	<i>kg/s</i>	0,1681	<i>Mezcla aire –GLP</i>
13	<i>Cantidad de mezcla aire – biogás</i>	<i>kg/s</i>	0,1404	<i>Mezcla aire – Biogás</i>
	<i>Venturi fijo</i>			
14	<i>Cantidad de mezcla aire – GLP</i>	<i>kg/s</i>	0,00671	<i>Mezcla aire –GLP en la garganta del mezclador con cuatro orificios</i>
15	<i>Cantidad de mezcla aire – biogás</i>	<i>kg/s</i>	0.00466	<i>Mezcla aire –GLP en la garganta del mezclador con doce orificios</i>
	<i>Venturi variable</i>			
16	<i>Cantidad de mezcla aire – GLP</i>	<i>kg/s</i>	0.02014	<i>Mezcla aire – Biogás en la garganta del mezclador con cuatro orificios</i>
17	<i>Cantidad de mezcla aire – biogás</i>	<i>kg/s</i>	0.01400	<i>Mezcla aire – Biogás en la garganta del mezclador con doce orificios</i>

5.8. REQUISITOS DE UN MEZCLADOR.

Para el diseño de un mezclador a nivel del Ecuador, se debe cumplir con la normativa técnica ecuatoriana **NTE INEN 2 310:2000 VEHICULOS AUTOMOTORES**. Debe cumplir las siguientes características:

- **Resistencia a la corrosión.** Los mezcladores deben ser resistentes a los efectos corrosivos causados por los componentes del carburante.
- **Dispositivos de regulación de flujo.** Los mezcladores deben garantizar el control de flujo, a cualquier velocidad.
- **Intercambiabilidad.** Las partes sustituibles de un mismo modelo deben ser reemplazables sin que se produzcan alteraciones en el funcionamiento.
- **Resistencia al choque térmico:** los mezcladores y adaptadores no deben sufrir desperfectos ni variaciones dimensionales cuando se sometan a una variación de temperatura entre 12°F y 213 °F.
- **Resistencia al impacto:** los mezcladores no deben sufrir fracturas ni ser afectados en su funcionamiento cuando se les someta a un impacto de 4.9N.m en la zona del Venturi.
- **Resistencia a la vibración:** los mezcladores no deben presentar fallas mecánicas ni desprendimiento de sus partes cuando se sometan a un ensayo de vibración por un tiempo de tres horas, con una amplitud de 0.75mm y una frecuencia de 55HZ como mínimo.

Por lo cual el material a utilizar, se optó por el aluminio. En las aleaciones del aluminio el grupo “1XXX”, es para pureza mínima de aluminio del 99.00% y mayor. Los dos últimos de los cuatro dígitos en la designación indican los mismos dígitos que hay a la derecha del punto decimal en el porcentaje mínimo de aluminio. Este aluminio se lo conforma de la fundición del aluminio y es de muy fácil obtención y costo relativamente bajo, el aluminio 1060 indica una aleación que tiene 99.60 % de aluminio y es el que va a ser utilizado.

Las propiedades disponibles del **Aluminio 1060** se presentan a continuación. (PAPER “Comparative study for anodizing aluminum alloy 1060 by different types of electrolytes solutions”, talib m. naief, khalid h. rashid chemical eng. department - university of technology).

5.9 Propiedades de diseño

Es una aleación esencialmente de aluminio puro con relativamente baja resistencia a la tracción. Es notable por sus excelentes características de soldabilidad y conformabilidad con buena resistencia a la corrosión. No puede ser endurecida por tratamiento térmico.

Tabla 5.6. Características del material del mezclador

Conformado O Deformacion Plastica			
Ord.	Descripción	Detalle	Observación
1	Fundición	Se denomina fundición al proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad, llamada molde, donde se solidifica	Para la fundición con metales como el aluminio se utiliza la caja de moldeo es a menudo cubierta con una chapa gruesa para prevenir un problema conocido como "flotación del molde".
2	Forja	Es un proceso de conformado por deformación plástica que puede realizarse en caliente o en frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión.	Hay que destacar que es un proceso de conformado de metales en el que no se produce arranque de viruta, con lo que se produce un importante ahorro de material respecto a otros procesos, como por ejemplo el mecanizado.
3	Extrucción	Es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada.	El Aluminio es el material más común, puede ser extruido caliente o frío. si es extruido caliente es calentado de 575 a 11 00 °F (300 a 600 °C) .
4	Laminado	La laminación o laminado es un proceso de conformación plástica en el que un metal fluye de modo continuo y en una dirección preferente, mediante fuerzas de compresión.	Los procesos de laminado se realizan, en su gran mayoría, en caliente por la gran deformación ejercida sobre el material trabajado.
<u>MECANIZADO</u>			

ORD EN	DESCRIPCION	DETALLE	OBSERVACION
1	Fresado	Es un proceso que permite arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa.	Las piezas fresadas pueden ser desbastadas o afinadas.
2	Taladrado	Es la operación de mecanizado que tiene por objeto producir agujeros cilíndricos en una pieza cualquiera, utilizando como herramienta una broca.	El taladrado es considerado como uno de los procesos más importantes debido a su amplio uso y facilidad de realización.
3	Torneado	El torneado consiste en arrancar viruta por medio de un filo o herramienta que avanza longitudinalmente mientras la pieza a mecanizar gira accionada por el torno.	Permite pequeñas tolerancias y acabados superficiales buenos.

TRATAMIENTO TERMICOS.

ORD EN	DESCRIPCION	DETALLE	OBSERVACION
1	Templado.	El templado o temple es un tratamiento térmico consistente en el rápido enfriamiento de la pieza para obtener determinadas propiedades de los materiales	El temple es un proceso mecánico por el cual las aleaciones se fortalecen y endurecen.
2	Revenido	El revenido al igual que normalizado, recocido y el temple, es un tratamiento térmico a un material con el fin de variar su dureza y cambiar su resistencia mecánica.	La velocidad de enfriamiento del revenido no tiene influencia alguna sobre el material tratado
3	Recocido	Es un tratamiento térmico cuya finalidad es el ablandamiento, la recuperación de la estructura o la eliminación de tensiones internas generalmente en metales.	Consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura para después dejar que se enfríe lentamente

ACABADOS.			
ORDEN	DESCRIPCION	DETALLE	OBSERVACION
1	Pulido	Se denomina pulir a una operación mecánica que se realiza en la superficie de varios materiales para mejorar su aspecto visual, su tacto y su funcionalidad.	El brillo alcanzado es la resultante de la compresión y cerrado de los poros de la superficie del metal.

5.10 Simulaciones de diseño

Permite agregar distintos movimientos a los componentes que forman su ensamblaje para evaluar como la forma, las dimensiones y las relaciones geométricas establecidas entre ellos definen la cinemática de su conjunto. Es una ayuda imprescindible para asegurar la ausencia de interferencias o choques entre los elementos de un ensamblaje.

5.10.1 Velocidad del mezclador variable

La simulación de velocidad, del mezclador de tipo variable en el cual se observa, la velocidad de ingreso de combustible a 138 m/s aproximadamente, y con una velocidad de 92 m/s en la salida hacia el Venturi después de estar casi en reposo en la cámara contenedora, lo cual nos indica que el vacío producido por el aire que se acelera en la sección angosta del Venturi genera la absorción del combustible hacia el Venturi.

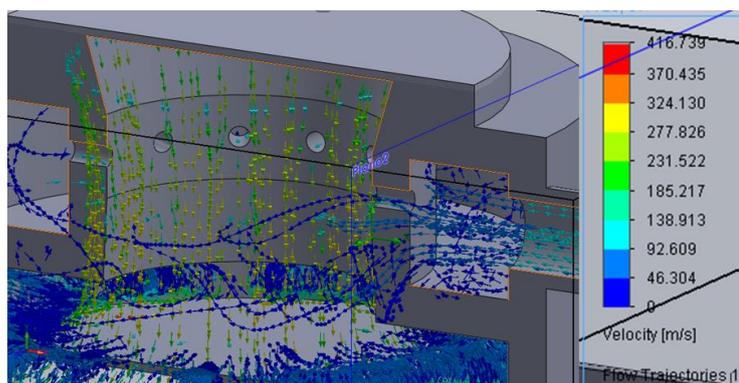


Figura 5.5. Simulación de velocidad de flujo mezclador variable.

Fuente: Elaboración propia.

5.10.2 Presión

La simulación de presión, en el mezclador de tipo variable en el cual se aprecia una presión de ingreso de combustible a la cámara contenedora de aproximada de 98818.37 Pa, los cuales disminuyen en la sección del Venturi, debido a que en el trayecto más angosto la presión del aire es menor; con un calor aproximado de 62486.82 Pa.

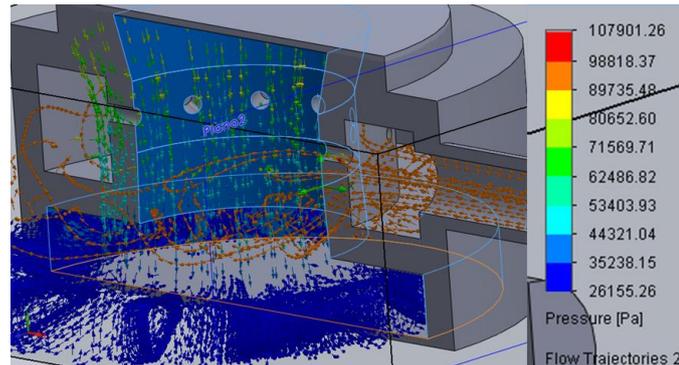


Figura 5.6. Simulación de presión de flujo mezclador variable.

Fuente: Elaboración propia.

5.10.3 Mezclador fijo

Simulación mezclador fijo el cual se caracteriza por poseer 4 orificios de alimentación de combustible hacia la garganta del Venturi, con una presión de ingreso de aire de 101325 Pa a 239.2 °K, el cual presenta un flujo másico de 0.0077 Kg/s en la sección de entrada de combustible, y con una velocidad final a la salida del Venturi de 89.41 m/s.

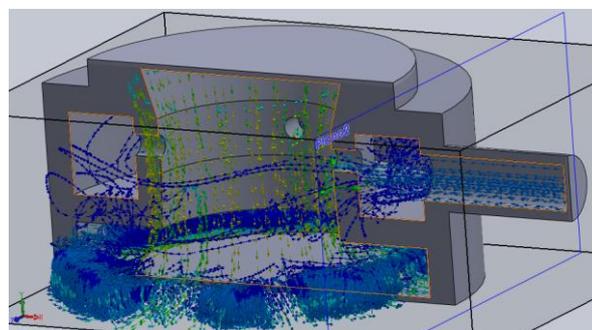


Figura 5.7. Simulación de velocidad de flujo mezclador.

Fuente: Elaboración propia.

5.10.4 Velocidad

Simulación de velocidad, del mezclador de tipo fijo en el cual se observa, la velocidad de ingreso de combustible a 50 m/s aproximadamente, y con una velocidad de 92 m/s en la salida hacia el Venturi después de estar casi en reposo en la cámara contenedora, lo cual nos indica que el vacío producido por el aire que se acelera en la sección angosta del Venturi genera la absorción del combustible hacia el Venturi.

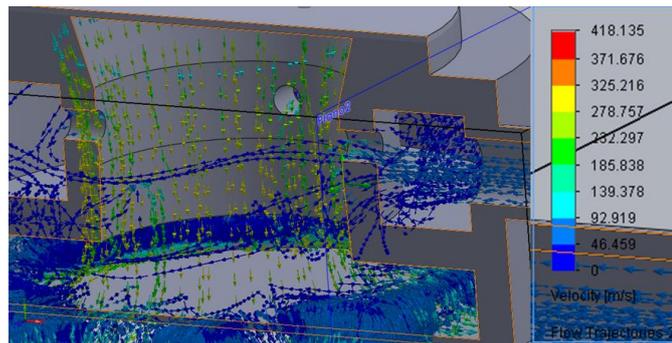


Figura 5.8. Simulación de velocidad de flujo mezclador fijo.

Fuente: Elaboración propia.

5.10.5 Presión

Simulación de presión, en el mezclador de tipo fijo en el cual se aprecia una presión de ingreso de combustible a la cámara contenedora de aproximada de 97498.23 Pa, los cuales disminuyen en la sección del Venturi, debido a que en el trayecto más angosto la presión del aire es menor; con un valor aproximado de 61982.42 Pa.

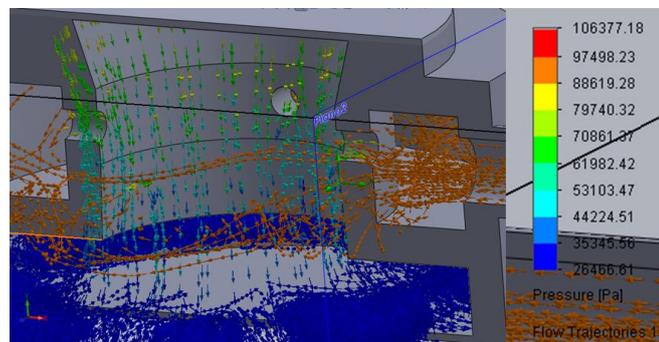


Figura 5.9. Simulación de presión de flujo mezclador fijo.

Fuente: Elaboración propia.

5.11 Construcción de mezclador.

La construcción del mezclador de acuerdo al material y dimensiones que ya fueron realizadas y fundamentadas en el anterior capítulo de diseño de esta investigación. La construcción del mezclador es de gran importancia para el presente tema de investigación, para el funcionamiento del mismo al momento de ser utilizado con carburantes alternos como GLP y biogás.



Figura 5.10. Procedimiento de construcción

Fuente: Elaboración propia.

El material mecanizado es Aluminio 6061-T6 (AISI/ASTM), por ser un material de fácil acceso para su compra, y sobre todo con una fácil maleabilidad, elementos necesarios para la construcción del mezclador Venturi tanto variable como fijo, las características principales que se tomó en cuenta para la construcción del mezclador fueron taladrado, torneado y pulido de acuerdo a la gran resistencia y excelentes características de acabado que presenta este material para ser mecanizado

5.12. Diagrama de procesos para la fabricación de un mezclador

El diagrama de procesos es una representación gráfica de la sucesión de todas las actividades que se utilizó durante la fabricación del mezclador, incluyendo información necesaria para un correcto análisis de tiempos y distancias de operaciones, transporte, demoras, inspecciones y almacenaje.

DIAGRAMA DE PROCESOS PARA EL DISEÑO DE LOS MEZCLADORES DE TIPO VENTURI FIJO Y DE VENTURI VARIABLE													
<input checked="" type="checkbox"/> METODO ACTUAL			<input type="checkbox"/> METODO PROPUESTO			N° 02							
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: MEZCLADOR DE VENTURI FIJO Y MEZCLADOR DE VENTURI VARIABLE													
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: FABRICACIÓN DEL MEZCLADOR DE VENTURI FIJO Y DEL MEZCLADOR DE VENTURI VAR													
RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS						
	NUM.	TIEMP.	NUM.	TIEMP.	NUM.	TIEMP.							
<input type="radio"/> Operación	10	1890					ESTUDIADO POR: Ing. Leonidas Quiroz						
<input type="checkbox"/> Inspección	3	310											
<input type="checkbox"/> Transporte	0	0											
<input type="checkbox"/> Almacenamiento	0	0											
<input type="checkbox"/> Retraso	0	0											
DISTANCIA RECORRIDA		0											
PASOS	DETALLES DEL PROCESO		operación	transporte	insp. ec.	retraso	almacenamiento	dist. (m)	cantidad	tiempo (')	NOTAS		
1	Obtención de información bibliográfica y fundamentación teórica.		●	⇒	□	D	▽			1200	Motores del automóvil. Autor Jovac.		
2	Determinar los valores de flujo masico y volumetrico a obtener		●	⇒	□	D	▽		2	60	fundamentación teórica		
3	determinar las dimensiones del lugar de empotramiento del mezclador en el motor		●	⇒	■	D	▽		1	10	motor toyota 5R		
4	realizar los calculos del venturi fijo y del venturi variable		●	⇒	□	D	▽		2	120			
5	determinar la cantidad de orificios para el mezclador de venturi fijo y de venturi variable		●	⇒	□	D	▽		2	20	fundamentación teórica		
6	determinar los calculos para el dimensionamiento de la boquilla de admisión		●	⇒	□	D	▽		1	30	motor toyota 5R		
7	modelado del mezclador de tipo venturi fijo y venturi variable		●	⇒	□	D	▽		2	120	SOLIDWORKS 2013		
8	comprobacion de los calculos mediante la simulación CAD		●	⇒	■	D	▽		2	240	SOLIDWORKS 2013		
9	simulación en FLOW para verificar caudales masicos y volumetricos		●	⇒	■	D	▽		2	60	SOLIDWORKS 2013		
10	elaboración de planos de los mezcladores mediante CAD		●	⇒	□	D	▽		2	30	SOLIDWORKS 2013		

Figura 5.20. Diagrama de procesos para el diseño del mezclador.

Fuente: Elaboración propia.

DIAGRAMA DE PROCESOS PARA LA FABRICACIÓN DE UN MEZCLADOR															
■ METODO ACTUAL		□ METODO PROPUESTO		Nº 01											
DESCRIPCIÓN DE LA PARTE: MEZCLADOR DE VENTURI FIJO Y MEZCLADOR DE VENTURI VARIABLE															
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN: FABRICACIÓN DEL MEZCLADOR DE VENTURI FIJO Y DEL MEZCLADOR DE VENTURI VARIABLE															
RESUMEN	ACTUAL		PROPUESTO		DIFERENCIA		ANALISIS								
	NUM.	TIEMP.	NUM.	TIEMP.	NUM.	TIEMP.									
○ Operación	11	473													
□ Inspección	4	153													
⇒ Transporte	5	130													
▽ Almacenamiento	1	10													
D Retraso	1	40													
DISTANCIA RECORRIDA		22000													
ESTUDIADO POR:		Ing. Leonidas Quiroz													
PASOS	DETALLES DEL PROCESO						operación	transporte	insp. ec.	retraso	almacena	dist. (m)	cantidad	tiempo (')	NOTAS
1	Obtención de los bloques de aluminio 1060						○	➔	□	D	▽	15000	2	50	En auto a la fundidora de aluminio
2	Llevar los bloques de aluminio al Torno						○	➔	□	D	▽	2000	2	20	en auto de la universidad al tornero
3	torneado de la pieza externa acorde al diseño						●	⇒	□	D	▽		2	100	torneado del mezclador de venturi fijo y venturi variable
4	torneado de la pieza interna acorde al diseño						●	⇒	□	D	▽		2	100	torneado del mezclador de venturi fijo y venturi variable
5	Perforación de los orificios de la pieza interna						●	⇒	□	D	▽		2	30	torneado del mezclador de venturi fijo y venturi variable
6	Revisión de tolerancias las piezas						●	⇒	■	D	▽		4	3	verificar encaje de piezas
7	Corrección de las dimensiones del mezclador						●	⇒	■	D	▽		4	40	
8	torneado de la rosca hembra para la boquilla						●	⇒	□	D	▽		2	40	con machuelo
9	Retirar la pieza torneada						○	➔	□	D	▽	2000	2	20	en auto del tornero a la universidad
10	compra del acople de la manguera de alimentación						○	➔	□	D	▽	2000	2	20	en auto al almacén de elementos hidráulicos
11	limpieza y pulido del mezclador						●	⇒	■	D	▽		4	80	pulido de los 4 elementos de ambos mezcladores
12	sellado del mezclador						●	⇒	□	D	▽		2	20	con silicon de alta temperatura
13	prueba del mezclador en el motor (toyota 5R)						●	⇒	■	D	▽		2	30	verificar un funcionamiento eficaz y eficiente
14	empacado del mezclador						●	⇒	□	D	▽		2	10	
15	entregar el mezclador finalizado al cliente final						●	➔	□	D	▽	1000	2	20	

Figura 5.21. Diagrama de procesos para la fabricación de un mezcladores.

Fuente: Elaboración propia.

5.13. Análisis gráfico del mezclador

5.13.1 Análisis de la fracción del flujo de combustible mezclador de venturi fijo

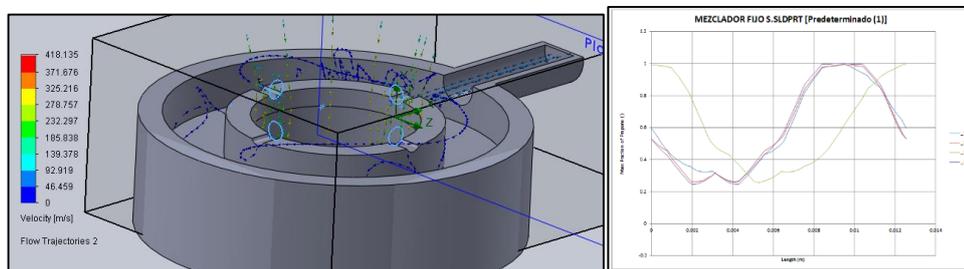


Figura 5.22. Flujo de combustible mezclador venturi fijo.

Fuente: Elaboración propia.

EJE Y: fracción de flujo de combustible
Eje X: longitud axial.

Análisis:

En el mezclador fijo, se tomó como primero plano de estudio a los orificios por los cuales se genera el ingreso del gas combustible al mezclador. Para este caso, se observa la clara diferencia entre el orificio más cercano a la boca de ingreso de Gas combustible, al respecto con los otros tres orificios, que muestran un ingreso de flujo sumamente similar. Esto nos indica que como posible mejora del diseño, se debería colocar al primero orificio fuera de la línea recta generada en la boquilla de ingreso de gas combustible. Al verificar la variación del flujo de combustible a lo largo de la longitud en el eje del área estudiada (los orificios), vemos como el valor mínimo ocurre en los puntos de mayor estrangulación, y tiende a aumentar al salir del orificio. (Mayor a 5mm en este caso). Los valores oscilan entre 0 y 1, ya que la fracción nos indicara en porcentaje de flujo de combustible posible, considerando a 1 como máxima eficiencia en el orificio.

5.13.2. Análisis De La Fracción Del Flujo De Combustible Mezclador De Venturi Variable

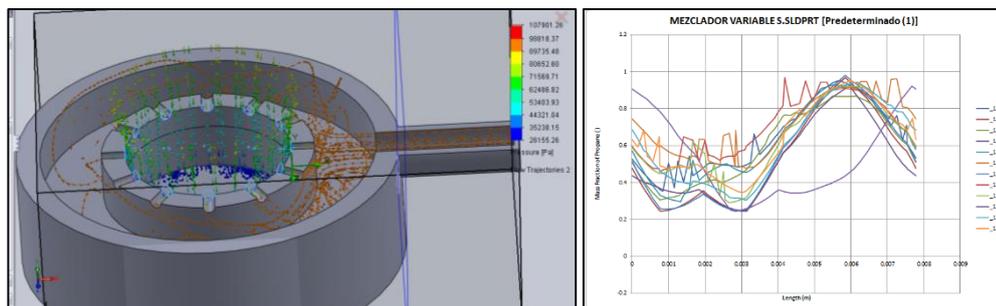


Figura 5.23. Flujo de combustible mezclador venturi variable.

Fuente: Elaboración propia.

Eje Y: Fracción de flujo de combustible.

Eje X: longitud axial

Análisis:

En el mezclador de venturi variable, al tomar mediciones de los valores obtenidos en los orificios de ingreso de combustible, se observa nuevamente la diferencia del primero orificio que se encuentra frente a la boquilla de ingreso de combustible gaseoso. Sin embargo en este caso, al comparar con las curvas del flujo másico del mezclador fijo, se observa mayores variaciones dentro del ingreso por cada orificio, y esto se debe a su variación en la turbulencia generada por esta nueva distribución

de orificios. Los valores nuevamente oscilaran entre 0 y 1, indicando el porcentaje en relación a su capacidad (un todo).

5.13.3. Sector de salida de mezcla del mezclador

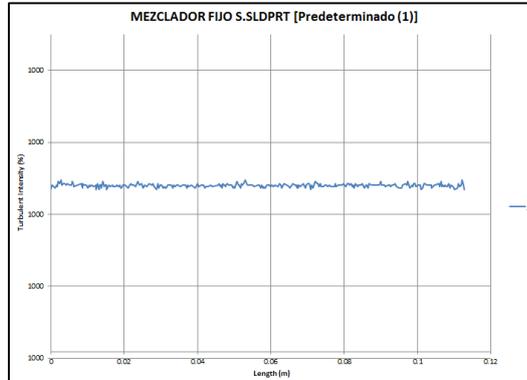


Figura 5.24. Salida de flujo mezclador.

Fuente: Elaboración propia.

Eje Y: intensidad de turbulencia

Eje X: longitud axial.

Análisis:

Tras atravesar el sistema del venturi, se observa como pasa de una turbulencia mínima o nula a una turbulencia de porcentajes muy elevados, gracias a su diseño. Facilitando así el llenado del cilindro en el motor y obteniendo altos valores de potencia.

5.13.4. Presiones del mezclador sector de entrada y salida del venturi fijo.

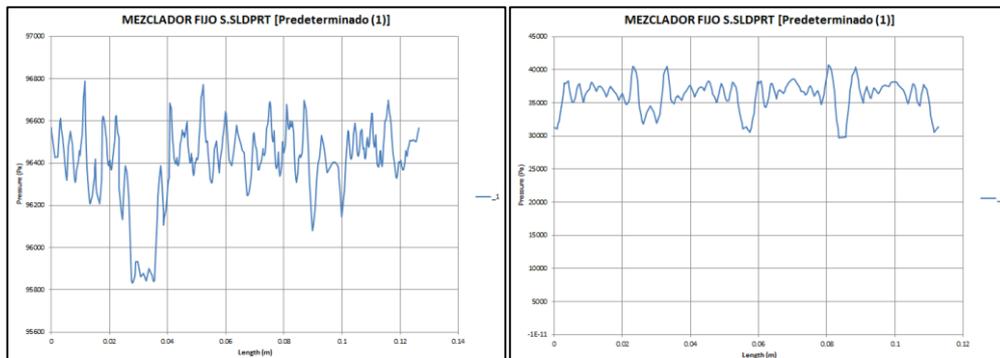


Figura 5.25. Presiones del mezclador.

Fuente: Elaboración propia.

Eje Y: Presiones.
Eje X: longitud axial.

Análisis:

Como primera observación, se ve claramente como existe una mayor constancia en los valores de presión generada en la salida de gases del mezclador. Esto se debe a la turbulencia generada en el ingreso de los gases al mezclador, generando una mezcla homogénea y estable en el mismo. Durante el trayecto del mezclador, al atravesar el venturi, existirá una variación en presiones debido al efecto de Bernoulli y a la constancia del caudal que siempre deberá existir sin importar las variaciones de áreas.

5.13.5. Análisis de fracciones de volumen entre aire y combustible en la salida del mezclador de venturi variable.

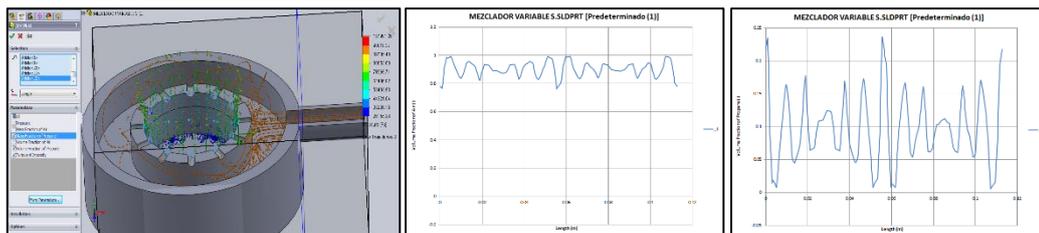


Figura 5.26. Volumen aire y combustible.

Fuente: Elaboración propia.

Eje Y: Fracción de volumen de aire

Eje X: longitud axial

Análisis:

Se observa cómo se completa la mezcla en una proporción predominante del oxígeno, sin embargo manteniendo una mezcla estequiométrica. En la primera gráfica, representa la cantidad de aire que existe, mientras que en la segunda gráfica hace referencia a la cantidad de combustible gaseoso. Se superponemos ambas gráficas se observa como una es el complemento del otro, donde al ser combinadas, generan el todo de la mezcla.

5.14. Conclusiones del capítulo

- Se diseñó un mezclador que regule y dosifique la eficiente en la relación de aire y combustible, que presente características constructivas fáciles y fácil adaptación al sistema de alimentación del Toyota 5R.
- Un mezclador de fácil adquisición, económico y de alta tecnología confiabilidad – funcionalidad al utilizar un material fácil obtención en el mercado.
- Con respecto al campo social, la propuesta contribuye al uso de carburantes no tradicionales y poco contaminantes para el ambiente al reducir gases nocivos producto de la combustión.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se realizó el análisis del aprovechamiento de la biomasa, para lo cual se ha hecho referencia con una muestra de 86 reses de 98 que cuenta la florícola para lo que determino el peso promedio que es de 412 kg/día, de lo cual se determinó que se tiene un potencial de aproximadamente 60 m³ de producción diaria de biogás a partir de la excreta animal.
2. Se determinó como prototipo biodigestor real para las condiciones de producción de excreta, producción de biogás, espacio y aplicaciones de la florícola un biodigestor tipo chino de tapa flotante cuyas dimensiones del tanque son: Altura = 2.08m, Radio = 3.39m, Volumen del Tanque = 88.975 m³
3. Para el diseño tecnológico del mezclador se consideró distintos parámetros como: diámetros de entrada, salida, difusor, garganta del mezclador, densidad del aire, velocidad de la carga que es de 90 m/s, velocidad de ingreso del aire de 69.38 m/s, velocidad salida del mezclador 95.21 m/s y la variación de presión de 8122.94 Pa en la garganta.
4. Mediante la simulación tanto en SOLIDWORS como en ANSYS programas de CAD se validó el diseño mediante valores de presión de ingreso de combustible de 98818.37 Pa, los cuales disminuyen en la sección del Venturi, una presión de ingreso de aire de 101325 Pa a 239.2 °K, el cual presenta un flujo másico de 0.0077 Kg/s en la sección de entrada de combustible, y con una velocidad final a la salida del Venturi de 89.41 m/s, y con una velocidad de 92 m/s en la salida hacia el Venturi, lo cual indica que el vacío producido por el aire que se acelera en la sección angosta del Venturi genera la absorción del combustible hacia el Venturi. Una vez realizada la prueba funcionalidad del mezclador en el motor Toyota 5R y evidenciando un comportamiento adecuado en un régimen de giro en ralentí de 800 rpm, medias de 2000 rpm y altas revoluciones de 3500 rpm, se valida los parámetros de diseño y la simulación realizada en los programas CAD.

5. Se estableció la eficiencia energética del biogás con el Análisis Ambiental e Inspección de LAB-CESTTA, Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental, Facultad de Ciencias, Escuela Politécnica del Chimborazo, ESPOCH con la prueba de porcentaje de metano en el carburante producido con la excreta de los bovinos de la florícola mediante una prueba de Cromatografía de Gases con un resultado del 51,1 % de CH₄, este es un ensayo con alcance de acreditación del OAE en conformidad con los criterios Generales de Acreditación del OAE, CR-GA01 en su edición vigente, sustentado al usar el biogás en el motor TOYOTA 5R adaptado el mezclador diseñado y construido.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de control mecánico o eléctrico para utilizar una mezcla dual de biogás y gas licuado del petróleo G.L.P. de tal manera de analizar el comportamiento del motor de combustión interna con los dos carburantes.
2. Perfeccionar el diseño de mezclador para un motor de combustión interna con sistema de inyección electrónica de un vehículo para alimentarlo con biogás y realizar pruebas de prestaciones como torque, potencia y consumo de combustible en un dinamómetro.
3. Profundizar el estudio del uso de biogás como combustible en motores de combustión interna diésel y determinar el potencial energético del biogás como carburante en este tipo de motores y determinar las diferencias del diseño de la mezcla aire – combustible y su relación estequiométrica.
4. Realizar el diseño con un método gráfico por computador CAD para facilitar la simulación de flujometría y poder comprobar a la par los resultados obtenidos con los cálculos realizados, y así corregir los errores antes del proceso de manufactura del mezclador.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acurio, G. Rossin, A, Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos en America Latina y el Caribe. Publicación del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington DC, 1997.
2. Aguilar, F. Botero, R. Los Beneficios Económicos Totales de la producción de Biogás usando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo. Ecuador – Costa Rica, 15 de agosto, 2006
3. Almeida Oñate Juan Carlos. Enero 2003. “Diseño de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás para su aprovechamiento en el nuevo campus de la ESPE extensión Latacunga”.
4. Álvarez, R. Producción Anaeróbica de Biogás: Aprovechamiento de los residuos del proceso Anaeróbico. IIIDPROQ, La Paz – Bolivia, 2004.
5. Botero, R. Preston, T. Biodigestores de Bajo Costo para la producción de Gas y Fertilizante a partir de Excretas. CIPAV (Centro para la Investigación de Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria) Cali, Colombia, 1995.
6. Calero Torres Diego Andres - Christian Ramiro Nacimba Tipán. Julio 2011. “Generación de gas metano a partir de desechos orgánicos y aplicación en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica”. Escuela Politécnica del Ejército. Latacunga. Ecuador.
7. Carless, J. Renewable Energy: A concise Guide to Green Alternatives. Pg. 175 – 197. Col. del Valle, México, 1995
8. Castillo, Vega, Cárdenas, La Bioconversión de la energía, ediciones pirámide, Madrid, 1983
9. Congreso Nacional del Ecuador, Texto Unificado de Legislación Ambiental, 1999.
10. Ferrey, S. Cebraal, A. Renewable Power in Developing Countries: Winning the war on Global Warming, Pg. 35 – 55 (Capítulo 2), Tulsa – EEUU, 2006.
11. Galarza Tapia. Septiembre 2005. Adaptación de un sistema de combustible con la utilización de GLP a un motor de gasolina TOYOTA 5R. Escuela Politécnica del Ejército. Latacunga. Ecuador.

12. García Joo J. E., M.Sc. Rojas Chávez F. J., Dr. Valverde Guzmán Q. Octubre 2007. Estudio y ensayo del mezclador del sistema de conversión a gas licuado de petróleo para un motor de 4 tiempos a gasolina. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.
13. García, L. Optimización del sistema de extracción activa de biogás, a través de variables controladas en la masa de residuos en la celda N°2 del vertedero el Molle, V región, Chile. Universidad de Viña del Mar, Escuela de Ciencias Ambientales, 2007.
14. IDAE (Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía), Biomasa: Digestores Anaerobios, Madrid, octubre de 2007.
15. Itintec, Como Construir un Biodigestor, Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, Lima, 1983
16. Jóvaj, M.S.. MOTORES DE AUTOMÓVIL. Editorial MIR, Moscú, 1982.
17. Lira Cacho Juan Guillermo - Alex Contreras Paredes. Noviembre 2011. regulación automática del sistema de alimentación de biogás de un motor de combustión interna. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica. Lima. Perú.
18. Lira Cacho, J.G., Oliveros Donohue, A., Barrera, J. Sistema de alimentación de biogás para un motor de combustión interna. Revista TECNIA, Vol.13, N°1, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2003.
19. Lutz. P, Producción de biogás a través de fermentación seca de biomasa, BEKON Energy Technologies GMBH y Co, 2005
20. Michelena, Manuel, los Biocombustibles, ediciones mundi prensa, Madrid, 2002
21. Mitzlaff, K. Von. ENGINES FOR BIOGAS. GATE. Deutsches Zentrum fur Entwicklungstechnologien. Germany, 1988.
22. Moncayo, G., Romero. Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2008.

23. Morales P., “Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento”, Tesis Licenciatura en Ingeniería Química, 2005.
24. Murphy. J, McKeogh. E, Kiely. G, Technical/economic/environmental analysis of biogás utilization, Cork Institute of Technology, Julio 2003, Cork, Irlanda.
25. Ortega, Mario, Energías Renovables, Editorial Paraninfo, 2da. Edición, Madrid España, 2000
26. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Introducción al Mecanismo de Desarrollo Limpio, Roskild, Dinamarca, 2007.
27. Thomas, B., Johansson. Renewable Energy: Sources for fuel and electricity. Island Press, Washington D.C., 1993.

Páginas Web:

28. http://www.oae.gob.ec/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=155
29. <http://www.energia.gov.ar/energiabiomasa/pdf>
30. <http://www.cps.unizar.es/isf/index.htm>
31. <http://aplicacionesbiogas.blogspot.com>
32. <http://www.lovatogas.com/manualinstalacion/glp/lovato/autores>

ANEXOS