



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

**TEMA:**

**COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ALIMENTADO CON  
BIOGÁS, PRODUCIDO A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO  
DE EXCRETAS DE GANADO BOVINO**

**AUTORES:**

**MENDOZA MENDOZA LUÍS ESTEBAN**

**ZAMBRANO VERA DANIEL ALEJANDRO**

**TUTOR:**

**ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL M.Sc.**

**CALCETA, JUNIO 2017**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

Luís Esteban Mendoza Mendoza y Daniel Alejandro Zambrano Vera, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de su autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondientes al presente trabajo, a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

---

**LUIS E. MENDOZA MENDOZA**

---

**DANIEL A. ZAMBRANO VERA**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Joffre Alberto Andrade Candell, certifica haber tutelado la tesis **COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ALIMENTADO CON BIOGÁS, PRODUCIDO A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE EXCRETAS DE GANADO BOVINO**, que ha sido desarrollada por Luís Esteban Mendoza Mendoza y Daniel Alejandro Zambrano Vera, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL M.Sc.

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han APROBADO la tesis **COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR ALIMENTADO CON BIOGÁS, PRODUCIDO A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DE EXCRETAS DE GANADO BOVINO**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Luís Esteban Mendoza Mendoza y Daniel Alejandro Zambrano Vera, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

---

Ing. Carlos Delgado Villafuerte, M.Sc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Jorge Cevallos Bravo M.Sc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Carlos Villafuerte Vélez, M.Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores hacemos conocer nuestro agradecimiento principalmente a Dios por permitirnos realizar nuestro trabajo de tesis al darnos la fuerza y salud necesaria para llevarlo a cabo.

A nuestro tutor de tesis y amigo el Ing. Joffre Andrade Candell por guiarnos desde el principio de la investigación hasta su final y brindarnos su apoyo en cada momento que lo requeríamos.

Al Ing. Manuel Saltos por brindarnos sus conocimientos y de ésta manera concluir de manera exitosa nuestro trabajo investigativo.

A nuestra facilitadora de proyecto de tesis la Ing. Flor María Cárdenas por guiarnos clase a clase en la realización estructural de nuestra tesis.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual estamos forjando nuestros conocimientos profesionales día a día.

A nuestra directora de carrera la Q.F. Ana María Aveiga, al presidente y miembros de nuestro tribunal de tesis, el Ing. Carlos Villafuerte Vélez, Ing. Carlos Delgado Villafuerte, Ing. Erika Espinel Pino y al Ing. Jorge Cevallos Bravo.

**LOS AUTORES**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico principalmente a Dios por mantenerme con salud y permitirme culminar los estudios académicos dentro de la universidad.

A mis padres, Yolanda Mendoza y Luis Mendoza quienes son pilar fundamental dentro de mi vida para poder conseguir todo tipo de objetivo que me proponga en la vida.

A mi familia en general por ayudarme, darme ánimos y fuerzas para conseguir el objetivo planteado.

---

MENDOZA M. LUÍS ESTEBAN

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi madre Ángela Vera Álava y a mi padre Bosco Zambrano Vera por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos Damián Zambrano Vera y Valentina Zambrano Vera por estar siempre presentes, apoyándome para poderme realizar.

A mi compañero de tesis que supo entender los problemas que se presentaron y esperarme para la realización de la tesis.

---

ZAMBRANO V. DANIEL ALEJANDRO

## CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA.....	i
DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS .....	ix
FIGURAS.....	ix
GRÁFICOS .....	x
CUADROS .....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema. ....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general .....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis.....	3
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Biogás a partir de excretas de ganado bovino .....	4
2.2. Uso del biogás en motores de combustión interna.....	8
2.3. Calculo del comportamiento de un motor de cuatro tiempos.....	13

3. CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	17
3.1. Método .....	17
3.2. Técnicas estadísticas.....	18
3.3. Variables en estudio. ....	18
3.3.1. Variable independiente. ....	18
3.3.2. Variable dependiente.....	18
3.4. Unidad experimental .....	18
3.5. Procedimientos.....	18
3.5.1. Fase 1: obtención biogás a partir de las excretas producidas por el ganado bovino .....	19
3.5.2. Fase 2: generar energía mediante un motor mecánico de cuatro tiempos.....	20
3.5.3. Fase 3: calcular el comportamiento producido en el motor mecánico a cuatro tiempos .....	20
4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Obtención del biogás a partir de las excretas producidas por el ganado bovino .....	22
4.2. Generación de energía mediante un motor de cuatro tiempos.....	24
4.3. Calculo del comportamiento producido en el motor mecánico a cuatro tiempos .....	29
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	34
5.1. Conclusiones .....	34
5.1. Recomendaciones .....	35
BIBLIOGRAFÍA .....	36
ANEXOS.....	42

## **CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS**

### **FIGURAS**

**2.1.** Adaptación de motor usando como combustible gas (1) Tubo de entrada de biogás, (2) Válvula de admisión de aire, (3) Tubo de entrada de aire, (4),

Válvula de admisión de biogás, (5) Entrada al motor de la mezcla aire– biogás .....	13
<b>3.1. Ubicación del proyecto .....</b>	<b>17</b>

## **GRÁFICOS**

<b>4.1. Consumo del Combustible gasolina .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. Relación de temperatura de gases de escape .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3. Relación del ruido del motor .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4. Relación del tiempo de encendido del motor .....</b>	<b>30</b>
<b>4.5. Relación del consumo de combustible biogas.....</b>	<b>31</b>
<b>4.6. Relación de temperatura de gases de escape.....</b>	<b>31</b>
<b>4.7. Relación de ruido del motor.....</b>	<b>31</b>
<b>4.8. Relación del tiempo de encendido del motor.....</b>	<b>32</b>
<b>4.9. Comparacion general del ruido del motor.....</b>	<b>33</b>

## **CUADROS**

<b>4. 1. Componentes de la mezcla .....</b>	<b>22</b>
<b>4. 2. Valores en la producción de Biogás .....</b>	<b>23</b>
<b>4. 3. Producción final del Biogás .....</b>	<b>24</b>
<b>4. 4. Resumen de los datos del ANOVA en el ruido de las variables de gasolina y gas .....</b>	<b>25</b>
<b>4. 5. Prueba de normalidad de Sharpiro-Wills .....</b>	<b>25</b>
<b>4. 6. Detalles del resultado del ANOVA del ruido .....</b>	<b>26</b>
<b>4. 7. Prueba de Duncan al 0,5% de significancia del ruido para el tipo de combustible.....</b>	<b>26</b>
<b>4. 8. Prueba de Duncan al 0,5% de significancia del ruido para los tratamientos. ....</b>	<b>27</b>
<b>4. 9. Detalles del análisis de varianza Krukall-Wallis de los tratamientos .....</b>	<b>27</b>
<b>4. 10. Prueba de Tukey al 0,5% de significancia de los tratamientos. ....</b>	<b>27</b>
<b>4. 11. Análisis de varianza Krukall-Wallis del estado de las luminarias. ....</b>	<b>28</b>

## RESUMEN

Esta investigación presenta la evaluación del comportamiento de un motor alimentado con biogás, producido a partir de excretas de ganado bovino; en comparación con el combustible convencional (gasolina). Se utilizó el método cuantitativo nivel experimental con un diseño bifactorial con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo compuesta por el proceso de funcionamiento del motor para alimentar 20 focos de 110 Watt con luminarias encendidas o apagadas hasta agotar el combustible (biogás= 0,2943 m<sup>3</sup>, gasolina= 0,00051 m<sup>3</sup>). El rendimiento del motor fue evaluado a partir de tres indicadores: tiempo de encendido (segundos), temperatura del motor (°C) y ruido (dBA). Se realizó el análisis de la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wills al 5% de significancia, los datos no paramétricos se evaluaron mediante un análisis de varianza no paramétrica Kruskal-Wallis y se determinaron diferencias significativas mediante la prueba de Tukey; los datos normalmente distribuidos se les realizó el análisis ANOVA donde se establecieron diferencias significativas con la prueba de Duncan. El biogás utilizado fue generado con una mezcla de 0,0885 m<sup>3</sup> de agua+0,0708 m<sup>3</sup> de excretas de ganado bovino+0,0177 m<sup>3</sup> de higuierilla (para aumentar el potencial de hidrógeno). El motor presentó los menores valores de ruido con la utilización del biogás y las luminarias encendidas (64,93 dB), el mayor tiempo de encendido y temperatura del motor lo presentó la gasolina con 892,5 segundos y 158,43°C respectivamente; el menor tiempo de encendido (36,17 segundos) y temperatura (84,15 °C) lo presentó el biogás. El rendimiento del motor representa que por los 892,5 segundos de tiempo de encendido con gasolina se obtuvo un costo de 0,20 centavos/m<sup>3</sup> y a su vez con biogás por los 29 segundos que se mantuvo el motor encendido se obtuvo un 200 dólares/m<sup>3</sup>.

## PALABRAS CLAVES

Biodigestor, gasificador, sonómetro, manómetro.

## ABSTRACT

This research presents the performance evaluation of an internal combustion engine fueled with biogas, produced from excreta of cattle compared to conventional fuel (gasoline). We used the experimental level quantitative method with a bifactorial design with three replicates. The experimental unit consisted of the operation of the engine to power 20 bulbs of 110 watt with luminaires on or off until the fuel was exhausted (biogas= 0.2943 m<sup>3</sup>, gasoline= 0.00051 m<sup>3</sup>). The engine performance was evaluated from three indicators: ignition time (seconds), engine temperature (°C) and noise (dBA). Data analysis was performed using the Sharpiro-Wills test at 5% significance, non-parametric data were evaluated using analysis of variance non-parametric of Kruskal-Wallis and were determined significant differences using the Tukey test; the normally distributed data were analyzed by ANOVA where significant differences were established with the Duncan test. The biogas used was generated with a mixture of 0.0885 m<sup>3</sup> of water + 0.0708 m<sup>3</sup> of bovine excreta + 0.0177 m<sup>3</sup> of higuerrilla (to increase the potential of hydrogen). The engine presented the lowest noise values with the use of biogas and the lights on (64.93 dB), the longest ignition and engine temperature was presented by gasoline with 892.5 sg and 158.43 °C respectively; The lowest time of ignition (36.17 seconds) and temperature (84.15 °C) was presented by the biogas. The performance of the engine represents that for the 892.5 sg of ignition time with gasoline was spent 0.20 cents/m<sup>3</sup> and in turn with biogas for the 29 seconds that kept the engine on it spent \$ 200/m<sup>3</sup>.

## KEY WORDS

Biodigester, gasifier, sound level meter, pressure gauge.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

En el Ecuador existen varias familias que cuentan con la producción de ganado vacuno, mediante estos tienen ingresos económicos que sustentan gastos de la canasta diaria, sin embargo, la explotación de este recurso perjudica al ambiente, debido a que los residuos que en ellos generan, además producen gases de efectos invernaderos que son emitidos a la atmósfera que perjudican a los ecosistemas. Ku *et al.*, (2012) mencionan que la ganadería contribuye significativamente a acelerar el cambio climático, principalmente, a través de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), tales como: el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

En la provincia de Manabí son producidos muchos residuos orgánicos provocados por la producción del ganado vacuno, en este caso el estiércol que contamina al ambiente afectando al recurso hídrico, recurso suelo alterando su composición y en la parte atmosférica es uno de los principales causantes del efecto invernadero al producir gas metano (CH<sub>4</sub>), según la FAO (2006) expresa que gran parte del problema se da a causa de la ampliación de los pastizales y de las tierras agrícolas destinadas a la producción de forrajes, y genera un volumen todavía mayor de emisiones de otros gases que tienen más potencial de calentar la atmósfera: hasta un 37% del metano antropogénico, casi todo procedente de la fermentación entérica de los rumiantes, y el 65% del óxido nítrico antropogénico, la mayor parte procedente del estiércol.

En la ciudad de Calceta, en el sitio la Pavita cuenta con grandes residuos de estiércol los cuales no son aprovechados de una manera apropiada para su beneficio, y estos están expuestos al aire libre sin ningún aprovechamiento, al encontrarse situados en el suelo estos afectan de manera directa al mismo, y al interactuar con el sol estos hacen que acelere el proceso del efecto invernadero produciendo metano (CH<sub>4</sub>), además que produzca contaminación en los cuerpos de agua cercanos y esto hace que la contaminación ambiental se propague de manera rápida.

A partir de esta problemática los autores de esta investigación plantean la siguiente pregunta:

¿Cuál es el comportamiento de un motor alimentado con biogás producido a partir del aprovechamiento de las excretas de ganado bovino?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Según la ley de prevención y control de la contaminación Ambiental (2004) el art. 4. Decreta que será responsabilidad de los ministerios de salud y del ambiente en respectivas áreas de competencia, en coordinación con otras instituciones, estructurar y ejecutar programas que involucren aspectos relacionados con las causas, efectos, alcances y métodos de prevención y control de la contaminación atmosférica.

Debido a la evidente problemática de contaminación ambiental en cuanto a los gases invernaderos se tiene la necesidad de implementar estrategias para reducir la contaminación. Uno de los principales agentes de contaminación es el estiércol producidos por las vacas las cuales generan metano ( $\text{CH}_4$ ), gas causante del efecto invernadero, Sin embargo, estos residuos que provocan gases se pueden aprovechar de manera correcta para la producción de biogás y así proporcionar energía limpia.

Como estrategia se piensa aprovechar los residuos orgánicos producidos por la actividad ganadera para generar energía limpia en el sector La Pavita-Calceta-Manabí y a su vez medir el comportamiento de un motor a gasolina de cuatro tiempos alimentado con biogás generado a partir de los mismos.

La importancia de la producción de biogás se ha incrementado en los últimos años. Tal producción es uno de los caminos estratégicos, para reducir la emisión de gases tóxicos emitidos a la atmosfera por parte del estiércol.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento de un motor alimentado con biogás producido a partir del aprovechamiento de excretas de ganado bovino.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Obtener biogás a partir de las excretas producidas por el ganado bovino.
- Generar energía mediante un motor a gasolina de cuatro tiempos.
- Calcular el comportamiento obtenido en el motor a gasolina de cuatro tiempos.

### **1.4. HIPÓTESIS.**

El biogás generado a partir de excretas del ganado bovino produce un alto funcionamiento en un motor de combustión interna de cuatro tiempos.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. BIOGÁS A PARTIR DE EXCRETAS DE GANADO BOVINO

Las excretas, son residuos orgánicos descompuestos que se utiliza como abono para la tierra. Según la FAO (2009), Es Material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y Mezcla de materias orina de ganado doméstico. El estiércol de ganado es menos rico en nitrógeno, fósforo y potasio que los fertilizantes sintéticos y, por tanto, debe aplicarse en cantidades muchos mayores, es rico en materia orgánica, o humus, luego aumenta la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de absorción y retención de agua, lo que previene la erosión. (FAO, 2009).

Quesada *et al.*, (2007), define que la necesidad de alternativas de producción energética, mediante la implementación de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos disponibles, crea un clima favorable para la promoción e implementación de la tecnología de biodigestores, obteniendo como beneficio la producción de biogás. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo la explotación agropecuaria en una actividad económica más rentable y menos contaminante.

El término biogás se refiere a la mezcla de gases resultantes de la descomposición de la materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaeróbicas. La composición de biogás depende del tipo de desecho utilizado y de las condiciones en que se procesa. Los principales componentes del biogás y en mayor porcentaje son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Aunque la composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación (EPN, 2010); esta mezcla gaseosa que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y cuyos principales componentes son el metano (55-65%) y el anhídrido carbónico (35-45%) y en menor proporción, nitrógeno, (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y sulfuro de

hidrógeno (trazas) que se producen como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire por la acción de un microorganismo.

El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia volátil destruida, según sean las características del fango. El biogás del digestor (debido al metano) posee un poder calorífico aproximado de 4,500 a 5,600 Kcal/m<sup>3</sup>. El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (8,500 Kcal/m<sup>3</sup>), pudiéndose aumentar, eliminando todo o parte del CO<sub>2</sub> presente en el biogás. La producción total de gas depende fundamentalmente de la cantidad de alimento consumido por las bacterias o, dicho de otra forma, de la cantidad de sustrato eliminado en el proceso.

En resumen, el biogás se puede usar para generación o aplicaciones térmicas, en sustitución de combustibles. Finalmente, el material o lodo que se extrae de los biodigestores (bioabono), después del proceso de fermentación y producción del biogás, se puede usar para alimentar aves de corral, peces, ganado, etc., o para sustituir fertilizantes químicos, dependiendo de su origen y composición; Sus aplicaciones son múltiples: generación industrial de vapor, calentamiento de agua, calentamiento de fluidos térmicos y corrientes de proceso, producción de frío industrial usando circuitos refrigerantes de absorción, combustión en motores de combustión interna para producir potencia mecánica, generación de calor para cocinar, calefacción y otros usos, producción de iluminación, producción de potencia mecánica, refrigeración.

Zapata (1998) consultado por Quesada *et al.*, (2007), definen que en la mayoría de los países latinoamericanos, el biogás ha tenido un uso limitado a la cocción de alimentos y calefacción de animales de granja. A pesar de esto, el uso del biogás en la sustitución de combustibles fósiles, para la generación de electricidad en motores de combustión interna ha cobrado importancia en los últimos años. El biogás puede ser utilizado para reemplazar la gasolina hasta en un 100 %, mientras que en motores diesel sólo se logra un máximo de 80 %, debido a que la baja ignición del biogás no permite que haya explosión en este tipo de motores que carecen de bujía.

La higuera es una oleaginosa cuyo aceite se utiliza en la industria de motores de alta revolución, en pinturas, lacas, barnices, plásticos, fertilizantes, para uso antiparasitario en humanos, etc.; en total se utiliza en más de ciento ochenta productos. Tiene gran capacidad de adaptación y hoy día es cultivada prácticamente en todas las regiones tropicales y subtropicales, aunque es típica de regiones semiáridas. Su origen es muy discutido y algunos la consideran originaria de Asia y otros como nativa de América (Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 1991)

Los biodigestores fueron considerados, principalmente, como una manera de producir gas combustible a partir de desechos orgánicos. Sin embargo, al ser integrados a un sistema de agricultura ecológica los biodigestores pueden brindar muchos otros beneficios, en articular el reciclado de nutrientes para la obtención de fertilizantes de alta calidad. Debido a la creciente importancia del uso sostenible de los recursos naturales en los sistemas agrícolas, hoy se aprecia el papel de los biodigestores en una perspectiva mucho más amplia y, específicamente, por su aplicación potencial para el reciclaje de los nutrientes de las plantas. Esto puede contribuir en la reducción de la dependencia de los fertilizantes sintéticos y hacer más fácil el cultivar orgánicamente.

Los biodigestores, además de producir biogás cuyo contenido de energía en 1 m<sup>3</sup> de biogás (60% CH<sub>4</sub> y 40% CO<sub>2</sub>) es aproximadamente 6 kWh/m<sup>3</sup> (Hilbert, 2003), permiten reducir la emisión descontrolada de metano proveniente de la ganadería y la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ambos, gases de efecto invernadero; un biodigestor opera debido a un proceso biológico llamado fermentación anaeróbica y consiste en la descomposición de los desechos orgánicos (estiércol de cerdo, ganado y desechos vegetales), por medio de bacteria que trabajan por la ausencia de oxígeno. Al final se produce un rico gas metano, que es combustible con buen poder calórico, además un residuo (efluente) que sirve como abono (Elizondo, 2005).

Según el Grupo de Investigación de Energías Renovables (GIDER, 2003) Dpto. de Termodinámica – Fac. Ingeniería – Univ. Nacional del Nordeste; el biodigestor se construye con un tanque plástico de forma cilíndrica levemente

abombada, de 35 cm de diámetro inferior y superior, mientras que en su parte media el diámetro es de 45 cm. La altura es de 70 cm, lo que da una capacidad aproximada de 88 litros. Tiene en su parte superior una boca de carga con tapa a rosca de 7,5 cm de diámetro y una salida de 1 cm donde se coloca el manómetro de aguja de 0-1 kg/cm<sup>2</sup> y otra salida también de 1 cm donde se encuentra una válvula para salida de gases. El espesor de la pared plástica del tanque es de aproximadamente 6 mm. En su lateral tiene colocada una válvula de descarga de líquidos a 18 cm del suelo. Esta válvula se utiliza cuando se quiere desagotar el digestor y también cuando se quiere tomar una muestra de líquido para medir pH, densidad, etc. El gasómetro, recipiente donde se almacena el gas que se va generando, es un recipiente de vidrio invertido colocado dentro de una camisa de agua que cumple las funciones de sello hidráulico. El recipiente de vidrio tiene un diámetro interno de 24 cm y una altura de 36,8 cm, lo que da una capacidad de 16,5 litros. El análisis de los gases se hace mediante el aparato de Orsat. Estos equipos no funcionan correctamente si la temperatura externa no es mayor de 26 a 28 °C.

En un trabajo realizado en por Grupo de Investigación de Energías Renovables (GIDER) Dpto. de Termodinámica – Fac. Ingeniería – Univ. Nacional del Nordeste en la construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia se llegó a la conclusión que el biodigestor económico fabricado funciona correctamente, permitiendo realizar ensayos a pequeña escala con diversos materiales. Su uso en investigación y en docencia permitirá desarrollar nuevos proyectos de investigación al GIDER, como por ejemplo la obtención de biogás de los residuos madereros, materia prima tan abundante en la región chaqueña. El gas generado puede satisfacer las necesidades de calefacción, iluminación y energéticas de pequeños establecimientos rurales, y el sobrante de la digestión es un excelente fertilizante rico en materia orgánica. El prototipo fabricado deberá adaptar algunas mejoras al proceso de almacenamiento y consumo del gas generado. Por otra parte, se tratará de conseguir un analizador de gases electrónico para saber la composición y relación exacta de los gases generados.

En otro trabajo de investigación realizado por la (ESPOCH, 2014) donde se diseñó y construyó el biodigestor Chino anaerobio en la finca “Los 5 Hermanos”, parroquia el Dorado, provincia de Orellana. Donde se empleó investigación de campo, utilizando el método del pesaje, para determinar la cantidad estiércol/día generada, el método analítico, consistió en tomar muestras para ser analizados por el laboratorio LABSU, ubicado en Francisco de Orellana, el mismo que arrojó los siguientes valores; sólidos totales 13%, relación Carbono/Nitrógeno 11:1, los cuales permitieron mediante ecuaciones y fórmulas ingenieriles determinar parámetros de diseño, que fueron representados en planos utilizando software AutoCAD. Para la construcción del biodigestor Chino se empleó: talento humano (2), material pétreo (3 m<sup>3</sup>), cemento (19 quintales), 1 malla electro soldada de 10x10, 1 tubo de PVC (8pulg), 4 varillas de hierro (1/8), 2 tablas triplex, tablas de madera (30).

Para satisfacer los 2 GLP/mes que utiliza la finca “Los 5 Hermanos”, se construyó el biodigestor Chino anaerobio con las siguientes dimensiones; Altura 2.43m, diámetro 1.75m, volumen cúpula 0.44 m<sup>3</sup>/biogás, altura cúpula 0.35m<sup>3</sup>, radio curvatura cúpula 1.27 m, además se sobredimensiono 10% con respecto a su altura, destinado al almacenamiento (biogás), con un volumen total 5.1 m<sup>3</sup>, una producción estimada de 2.2 m<sup>3</sup> de biogás por día. Durante las pruebas de producción realizadas el día 14 produjo 1.1m<sup>3</sup> biogás, el día 20, 1.65m<sup>3</sup> biogás, en 28 días 1.94m<sup>3</sup> biogás. Realizada la investigación se concluye que el biodigestor Chino construido en la Finca “Los 5 Hermanos”, tiene un 88% eficiencia máxima.

## **2.2. USO DEL BIOGÁS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Un motor es toda máquina que es capaz de realizar trabajo por medio de una transformación de energía, dando como resultado el beneficio de un bien para la social (Chrysler, 1993). Es todo artificio que, funcionando de forma periódica, transforma calor en trabajo, el calor se obtiene transformando la energía química contenida en el combustible por combustión. Este calor, puede ser

aprovechado para producir energía mecánica o para calentar agua y obtener vapor que puede ser aprovechado por un motor térmico (Córdoba, 2003).

Para González (2003), los motores recíprocos o a pistón, son la más común y técnicamente madura de las tecnologías empleadas en las FED, son también denominados motores de combustión interna (MCI, en inglés IC: internal combustion). Los MCI pueden ser clasificados como alta velocidad, media y baja velocidad. Los primeros operan a 1200-3600 rpm, generando la mayor salida por unidad de desplazamiento y posee el más bajo costo capital, pero exhiben la menor eficiencia. Estos últimos pueden ser diseñados para quemar combustibles de baja calidad y son prácticos si hay un gran precio diferencial entre aceite pesado y gas natural, no poseen restricciones ambientales.

Los motores recíprocos están comercialmente disponibles en potencias en un rango de 0.5kW a 6.5 MW pudiendo ser usados en una variedad de aplicaciones, debido a su pequeño tamaño, bajo costo por unidad, y su salida térmica usable. Ellos ofrecen una fácil instalación, proveen confiabilidad, y una muy buena característica de seguimiento de la carga, además de la posibilidad de recuperación del calor.

El motor a gasolina es un sistema pistón-cilindro con válvulas, un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. (Giacosa, 1973). El motor se caracteriza por aspirar una mezcla aire-combustible (típicamente gasolina dispersa en aire).

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor. (Conesa, 2011). El motor Otto es un motor alternativo el cual posee un sistema pistón-cilindro con válvulas de admisión y válvulas de escape (Guerra, A1996).

Para Fernández y Duarte (2013), los motores de combustión interna son ampliamente utilizados como fuentes de alimentación en lugares de difícil acceso. Usualmente estos motores, de baja y media potencia, no cuentan con la instrumentación adecuada para que el usuario pueda establecer su correcto funcionamiento en variables como: temperatura, presión de aceite y velocidad de giro.

En este tipo de motor cada cilindro tiene dos válvulas, la válvula de admisión A y la de escape, un mecanismo que se llama árbol de levas las abre y las cierra en los momentos adecuados. El movimiento de vaivén del émbolo se transforma en otro de rotación por una biela y una manivela (Wankel, 1988). El funcionamiento se explica con cuatro fases que se llaman tiempos:

- a) Tiempo (aspiración): El pistón baja y hace entrar la mezcla de aire y gasolina preparada por el carburador en la cámara de combustión.
- b) Tiempo (compresión): El émbolo comprime la mezcla inflamable. Aumenta la temperatura
- c) Tiempo (carrera de trabajo): Una chispa de la bujía inicia la explosión del gas, la presión aumenta y empuja el pistón hacia abajo. Así el gas caliente realiza un trabajo.
- d) Tiempo (carrera de escape): El pistón empuja los gases de combustión hacia el tubo de escape.

El sistema de alimentación de este motor Otto consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo dosificador de combustible que vaporiza o atomiza el combustible desde el estado líquido, en las proporciones correctas para poder ser quemado. Su mayor precisión en el dosaje de combustible inyectado reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, y aseguran una mezcla más estable. En los motores diésel se dosifica el combustible gasoil de manera no proporcional al aire que entra, sino en función del mando de aceleración y el régimen motor (mecanismo de regulación) mediante una bomba inyectora de combustible (McGraw, 1995).

En el funcionamiento del sistema de alimentación a biogás una vez que se activa el soplador mediante un motor eléctrico, el biogás circula desde el

biodigestor a través del conducto de 2" de diámetro, pasa por el manómetro de presión, seguidamente por el drenado de condensados, posteriormente pasa por la válvula manual unidireccional luego circula por el caudalímetro a continuación pasa por el filtro para H<sub>2</sub>S, luego pasa por el soplador que sale por el conducto de 2" de diámetro, seguidamente se reduce el conducto a 1/2" de diámetro y finalmente ingresa al mezclador a través de un conducto de 3/8" de diámetro.

Los motores de combustión interna que operan con biogás son una tecnología de gran aplicación en el campo de la generación de energía eléctrica y térmica, a pesar de que se conoce que una mezcla estequiométrica de biogás-aire aporta en promedio alrededor del 85 % de la energía de una mezcla estequiométrica diésel-aire. Sin embargo, el uso del biogás se complica un poco dada la calidad de su composición química, ya que se trata de un combustible relativamente pobre, que contiene un volumen apreciable de CO<sub>2</sub> y contaminantes como material particulado, humedad y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S).

Esto hace necesario al menos un pretratamiento de limpieza y secado para el biogás y una selección muy cuidadosa del motor. En el mercado se pueden encontrar varios proveedores de estos motores, como también proveedores de los accesorios fundamentales como filtros, deshumidificadores, sistemas de recuperación y de disipación de calor, sistemas de control y de conexión a la red eléctrica y proveedores de paquetes completos, adecuados a las necesidades de cada interesado y de cada motor.

Por esta razón, aunque la tecnología se está aplicando, la configuración de parámetros del motor no está bien definida, teniendo en cuenta que los MCI son diseñados a condiciones de operación muy diferentes a las que se someten realmente, como es el caso de motores estacionarios, para los cuales su operación en relación con sus condiciones geográficas y climáticas, influyen en su desempeño, el cual afecta directamente su eficiencia.

La potencia y la eficiencia volumétrica de los motores de combustión interna para un mismo régimen dependen en gran medida de la composición del biogás, siendo mayor en operación con biogases de alta composición de

metano que con composiciones débiles de metano. Por ejemplo, la potencia producida y la eficiencia volumétrica obtenida en un MEP, son mayores operando con biogás de 70 % de CH<sub>4</sub> que operando con biogás de 50% de CH<sub>4</sub>, puesto que el primero tiene un mayor poder calorífico y menor cantidad de moderador de la combustión (CO<sub>2</sub>). (Bedoya *et al.*, 2007).

Un trabajo realizado por la (Universidad Earth, 2004) cuyo tema fue la utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos dentro de la metodología para la adaptación del motor de gasolina consistió en la elaboración de una pieza que permitiera la introducción de una mezcla de biogás; aire al cilindro del motor, para lo cual se utilizaron materiales de PVC en su mayoría, ya que estos son de fácil obtención y de bajo costo. Para la realización de la prueba del uso de biogás en el motor de gasolina de cuatro tiempos, se utilizó un motor marca Honda de 5 HP (3,7 kwh), modelo GX 140 MAX, de 144 cm<sup>3</sup>.

Donde se puede observar el tipo y cantidad de materiales utilizados y la disposición de cada uno de ellos en la pieza elaborada. De acuerdo con esta figura, se puede notar que el principio fundamental de la pieza lo representa la T de PVC, la cual sirve de mezclador de biogás-aire; Con la utilización de biogás, se logró sustituir el 100% del combustible (gasolina), por lo cual, de acuerdo con los resultados, cada hora de uso del motor con biogás, permite ahorrar 2.213,59 ml de gasolina. El consumo de biogás fue de 0,55 m<sup>3</sup>/hora, lo que significa que, con este tipo de motor, 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 4,025 L de gasolina.

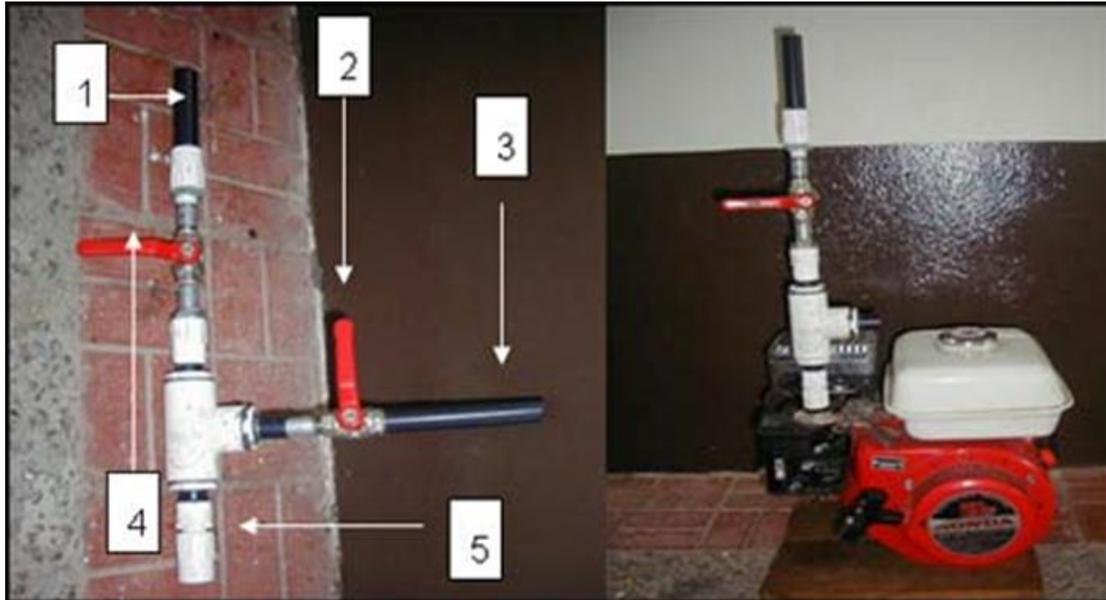


Figura 2.1. Adaptación de motor usando como combustible gas (1) Tubo de entrada de biogás, (2) Válvula de admisión de aire, (3) Tubo de entrada de aire, (4), Válvula de admisión de biogás, (5) Entrada al motor de la mezcla aire-biogás

### 2.3. CALCULO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

Para la medición de ruido estable debe colocarse el micrófono o el sonómetro en cada punto de medición apuntando hacia la fuente y girándolo en ángulo de 45°C, cada 15 segundos, por un lapso no menor de 5 minutos, durante los cuales se registra ininterrumpidamente la señal. Al cabo de dicho período se mueve el micrófono al siguiente punto y se repite la operación. Durante el cambio se detiene la grabación o almacenamiento de la señal, dejando un margen en la misma para indicar el cambio del punto.

La determinación del nivel de presión sonora equivalente se obtendrá de forma automática o manual según el tipo de instrumento de medición a utilizarse. En el caso del sonómetro integrador tipo 1 éste instrumento proveerá de los resultados de nivel de presión sonora equivalente. Deberán descartarse aquellas mediciones que influyan ruidos ocasionales (TULSMA, 2008).

Expresado en decibeles, es la relación entre la presión sonora siendo medida y una presión sonora de referencia, matemáticamente se define:

$$NPS = 10 \log_{10} \left[ \frac{PS}{20 \times 10^{-6}} \right] [ 2.1 ]$$

Donde PS es la presión sonora expresada en pascales (N/m<sup>2</sup>).

Al finalizar la medición, se contabilizarán los registros obtenidos y se obtendrá el porcentaje de tiempo en que se registró la medida en cuestión. El porcentaje de tiempo  $P_i$ , para una medida específica  $NPS_i$ , será la fracción de tiempo en que se verificó el respectivo valor  $NPS_i$ , calculado como la razón entre el tiempo en que actuó este valor y el tiempo total de medición.

El nivel de presión sonora equivalente se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$NPSeq = 10 \log \sum 10^{NPS_i/10} [ 2.2 ]$$

Todos los motores de combustión tienen un límite de temperatura para su operación normal, de sobrepasar este nivel se tienen problemas de lubricación por disminuir la viscosidad del aceite, también se pueden tener problemas de deformación de algunas piezas. Entre las causas que generan una elevada temperatura en un motor de combustión interna refrigerado por agua se tienen: obstrucción de los orificios de circulación de aire en el radiador, falla en la bomba del agua, ruptura de la correa del ventilador del radiador, fugas de agua en el radiador, entre otras. (Fernández y Duarte, 2013).

Esta variable se capta por medio de un sensor LM35. La toma de temperatura se puede realizar en varias partes del motor y dependiendo del lugar donde se tome se tendrá un valor diferente de temperatura para el nivel de recalentamiento. Para el caso del sistema propuesto, la temperatura se debe tomar en los ductos para la refrigeración, donde la temperatura no debe superar los 85° C en el funcionamiento normal del motor.

El sensor LM35 entrega una señal de tensión DC en su salida, proporcional a la temperatura medida, esta tensión se amplifica al doble para ser conectada al conversor Análogo/Digital del PIC16F873 para su procesamiento.

La función de transferencia con la que se programa el microcontrolador viene dada por la ecuación, la cual se origina al tener en cuenta el factor de

amplificación en la adaptación de la señal y la función de transferencia del sensor (Fernández y Duarte, 2013).

$$T = 50 \times V_{AN} [ 2.3 ]$$

Dónde:

- $T$  es la presión del aceite del motor e igual a la presión del aire comprimido en la manguera.
- $V_{AN}$  Es la tensión en el conversor Análogo/Digital

La pistola de medición de la temperatura no es un arma de defensa ni de ataque, pero sí le defenderá del calor que muchas veces es un peligro no solo para las personas sino también para los alimentos y muchos otros objetos en los que conviene controlar la temperatura.

Usada correctamente, la pistola de medición de la temperatura se convierte en un instrumento muy útil que nos ayudará a resolver muchas dudas sobre la temperatura de los objetos.

Las pistolas de medición de la temperatura son diversas entre ellas, destacan sin embargo la de láser. La pistola de láser se coloca de modo que ocupe toda el área donde se encuentra el objeto cuya temperatura se quiere medir para que pueda leerlo correctamente (De máquinas y herramientas, 2011).

La visión total del campo y la correcta distancia del objeto son requisitos para efectuar una medición correcta. Asegúrese siempre que no haya otros objetos dentro del campo de visión de la pistola de medición de la temperatura.

Hay varios modelos entre los cuales se puede elegir según las necesidades. Los modelos estándar de mira de rayo láser, pueden medir temperaturas entre  $-18^{\circ}$  y  $260^{\circ}$ , asimismo como rangos más avanzados entre  $-32^{\circ}$  y  $400^{\circ}$ . Existen modelos que también poseen una mira de rayo láser, y que pueden medir temperaturas entre  $-32^{\circ}$  y  $600^{\circ}$  con mayor alcance que los modelos anteriores.

Otro dato importante de las pistolas de medición de la temperatura es que no solo sirven para detectar la temperatura, sino que además pueden encontrar

todo tipo de objetos, aunque estén cubiertos por ejemplo por cemento, o escondidos por ejemplo dentro de un barril.

La pistola de medición de la temperatura resulta muy útil en frigoríficos puesto que ayuda a resolver dudas sobre la temperatura de los alimentos para su conservación.

# CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

Esta investigación se la realizó en la Provincia de Manabí-Bolívar-Calcuta en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí específicamente en el vivero de la carrera de Ingeniería Ambiental, con una duración aproximada de 9 meses, en la que se realizó la generación de Biogás a partir de excretas bovinas, midiendo el funcionamiento del motor utilizando los indicadores de tiempo de encendido del motor, temperatura y ruido.

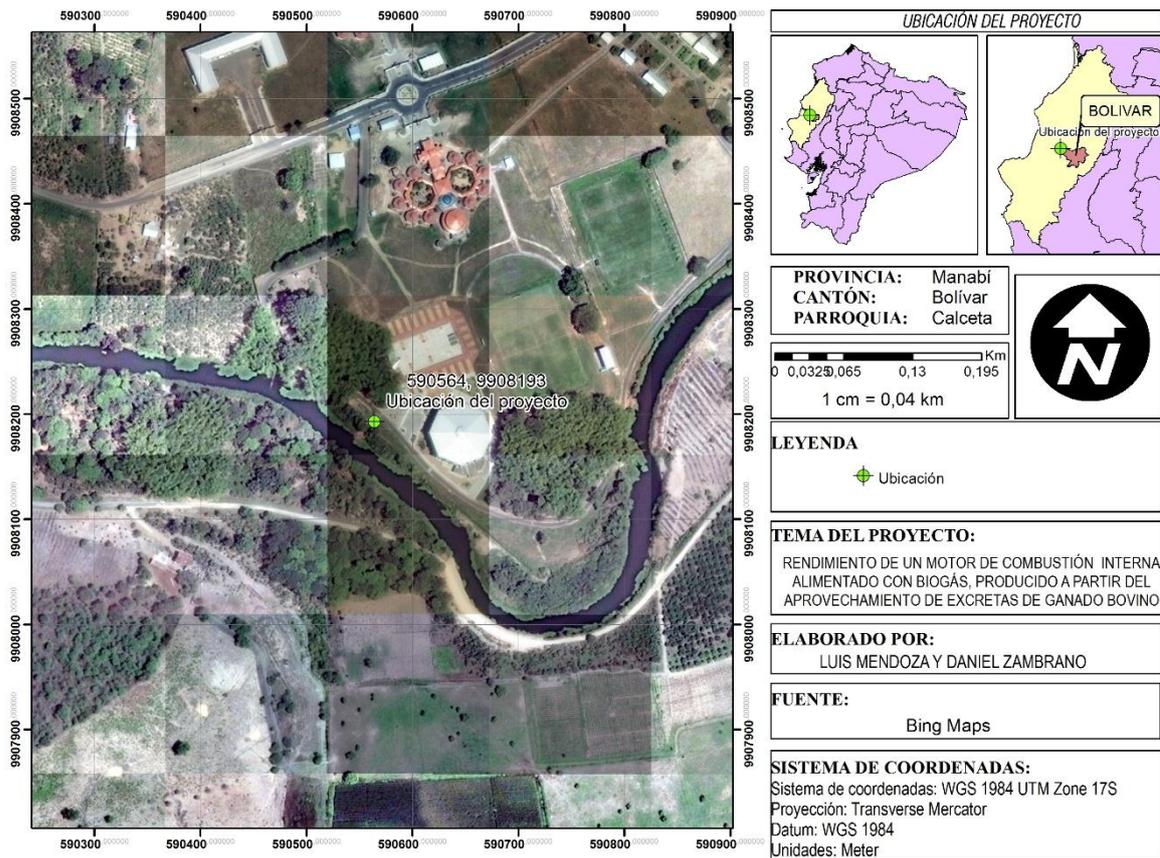


Figura 3.1. Ubicación del proyecto

## 3.1. MÉTODO

Se utilizó el método cuantitativo nivel experimental con un diseño bifactorial con tres repeticiones.

## **3.2. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS.**

Se determinará a través del ANOVA diferencias estadísticamente significativas de los parámetros propuestos entre un motor alimentado por gasolina y otro alimentado por biogás producido en el biodigestor, y de ésta forma se definirá el funcionamiento del mismo con los 2 combustibles ya mencionados, cabe recalcar que una diferencia estadísticamente significativa consiste en que las evidencias estadísticas establezcan que existe dicha diferencia; lo cual no significa que la diferencia sea grande, importante o radicalmente diferente.

## **3.3. VARIABLES EN ESTUDIO.**

### **3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.**

Biogás generado a partir de excretas bovinas.

### **3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE.**

Comportamiento del motor.

#### **3.3.2.1. INDICADORES.**

- Tiempo de encendido del motor
- Temperatura
- Ruido

## **3.4. UNIDAD EXPERIMENTAL**

La unidad experimental estuvo compuesta por el proceso del comportamiento del motor para alimentar 20 focos de 110 Watt con luminarias encendidas o apagadas hasta agotar el combustible (biogás= 0,2943 m<sup>3</sup>, gasolina= 0,00051 m<sup>3</sup>)

## **3.5. PROCEDIMIENTOS**

Para realizar este proyecto se establecieron tres fases las cuales indicaron el procedimiento para obtener los resultados de manera exitosa. Las cuales son:

### **3.5.1. FASE 1: OBTENCIÓN BIOGÁS A PARTIR DE LAS EXCRETAS PRODUCIDAS POR EL GANADO BOVINO**

#### **3.5.1.1. ACTIVIDAD 1: CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR**

Dentro de la primera fase como primera actividad se tuvo la construcción de un biodigestor de tipo metálico en forma cilíndrica con un volumen estimado de  $0,220 \text{ m}^3$ , el cual tuvo como principal componente un barril metálico adecuado con tuberías de acero galvanizado, codos, mangueras, válvulas, etc. Todos estos materiales fueron debidamente adaptados a dicho barril para la construcción del biodigestor (anexos 1.C. y 1.D).

#### **3.5.1.2. ACTIVIDAD 2: RECOLECCIÓN DEL ESTIÉRCOL**

En la segunda actividad se procedió a la recolección de estiércol de ganado bovino (anexos 1.A, 1.B) en la cual se usó palas y sacos para la realización de la actividad, cabe recalcar que la toma de estiércol se la hizo debido al volumen del biodigestor y a la cantidad de agua que uso en la mezcla dentro del tanque el cual tiene un volumen de  $0,220 \text{ m}^3$ , las excretas se transportaron en un vehículo hasta el punto de realización de nuestro primer objetivo.

#### **3.5.1.3. ACTIVIDAD 3: PREPARACIÓN DE LA MEZCLA**

Para la preparación de la mezcla se usó las excretas de ganado bovino y agua, se procedió a la preparación con una relación 3:1, por cada 1 parte de estiércol se colocó 3 partes de agua y se añadió higuierilla para aumentar el potencial de nitrógeno, estas cantidades se establecieron de acuerdo al volumen del biodigestor en el cual ocupaba un 80% para la mezcla y un 20% para la generación del gas el cual fue llevado por una tubería hacia el reservorio (Morrillo, 2012). (anexos 1.F-1.H)

### **3.5.2. FASE 2: GENERAR ENERGÍA MEDIANTE UN MOTOR MECÁNICO DE CUATRO TIEMPOS**

#### **3.5.2.1. ACTIVIDAD 4: ADECUACIÓN DEL MOTOR MECÁNICO DE CUATRO TIEMPOS E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL COMBUSTIBLE**

La metodología para la adaptación del motor de gasolina de cuatro tiempos consistió en la elaboración de una pieza que permitió la introducción de una mezcla de biogás; aire al cilindro del motor, para lo cual se utilizarán distintos materiales de PVC en su mayoría (Universidad Earth, 2004), entre los cuales tenemos (anexos 1.J-1.L):

- Tubo de entrada de biogás
- Manguera de entrada de aire
- Abrazadera
- Válvula de paso

#### **3.5.2.2. ACTIVIDAD 5: ENCENDIDO DEL MOTOR**

Una vez que se hizo la adecuación al motor a gasolina de cuatro tiempos y la instalación del sistema de alimentación del combustible se procedió a encender el motor, cabe recalcar que el motor se encendió en su génesis con gasolina y en breve se dio paso al biogás para que éste trabaje a base del mismo. Se realizaron 3 repeticiones del proceso para cada indicador.

### **3.5.3. FASE 3: CALCULAR EL COMPORTAMIENTO PRODUCIDO EN EL MOTOR MECÁNICO A CUATRO TIEMPOS**

#### **3.5.3.1. ACTIVIDAD 6: MEDICIÓN DEL TIEMPO DE ENCENDIDO**

Para la medición del tiempo de encendido se usó el rendimiento del motor tanto con gasolina y se utilizó la energía producida para alimentar 20 unidades de focos colocados en una valla metálica y con un cronómetro se tomó el tiempo con cada combustible.

### **3.5.3.2. ACTIVIDAD 7: MEDICIÓN DE TEMPERATURA**

Dentro de esta actividad se procedió a la medición de la temperatura del motor alimentado con biogás y después con gasolina para su respectiva comparación, éste resultado se la realizo con una pistola láser de medición de temperatura, esta se colocó de modo que ocupó toda el área donde se encuentra el motor para que pueda leerlo correctamente. (anexo 1.T).

### **3.5.3.3. ACTIVIDAD 8: MEDICIÓN DEL RUIDO**

En la medición del ruido del motor a gasolina de cuatro tiempos se usó el sonómetro, el cual se lo ubico apuntando hacia la fuente y girándolo en ángulo de  $45^{\circ}$ , cada 15 segundos, por un lapso no menor de 5 minutos se obtuvo el valor real de ruido del motor tanto con la gasolina y con el biogás.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. OBTENCIÓN DEL BIOGÁS A PARTIR DE LAS EXCRETAS PRODUCIDAS POR EL GANADO BOVINO

Según la Univ. Nacional del Nordeste, (2003) un tipo de biodigestor común se construye con un tanque plástico de forma cilíndrica levemente abombada, de 35 cm de diámetro inferior y superior, mientras que en su parte media el diámetro es de 45 cm. La altura es de 70 cm, lo que da una capacidad aproximada de 0,088 m<sup>3</sup>.

Para la obtención del biogás se procedió a construir un digestor metálico de 0,22 m<sup>3</sup> de volumen al cual se le acopló tuberías de PVC para llevar el gas hacia un gasificador de 0,5 m<sup>3</sup> de PVC (anexo 1.C), dentro del digestor se introdujo una mezcla de 0,178 m<sup>3</sup> de volumen que es el 80% del volumen del digestor, el 20% restante quedó libre para la generación del gas; la mencionada mezcla tuvo un 50% de agua, 40% de excretas y 10% de higuierilla (anexo 1.G). Esto se asemeja a lo estipulado por Acuña (2015) en donde menciona que para determinar la carga inicial se debe calcular el volumen de la mezcla el cual debe entrar al biodigestor, tomando en cuenta que debe ingresar solamente un 75% de la capacidad del biodigestor, pues el 25% restante de la capacidad de la membrana queda como espacio libre para la formación de biogás.

Cuadro 4. 1. Componentes de la mezcla

COMPONENTES DE LA MEZCLA	PORCENTAJE DE MEZCLA %	VOLUMEN DE MEZCLA (m <sup>3</sup> )
Agua	50	0,089
Excretas	40	0,0712
Higuierilla	10	0,0178

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

De acuerdo a Budiyo (2010) y Abudakar e Ismail (2012) mencionados por Colos (2015) se debe de considerar un rango de 4 a 12 días para el inicio de la producción del biogás en condiciones anaerobias, esto debido al crecimiento exponencial de las bacterias metanógenas, y al proceso por el cual debe pasar

la materia orgánica para que esta pueda degradarse. Por esta razón se puede observar en el cuadro 4.2 que los primeros 5 días no existe producción de gas por cuanto en este tiempo estaba pasando por la fase de hidrólisis, luego acidogénica, acetogénica y metanogénica.

**Cuadro 4. 2.** Valores en la producción de Biogás

DÍAS	Presión PSI	Presión Pa	Presión Absoluta Pa	Temperatura °C	Temperatura K	Volumen m <sup>3</sup>	Masa mol	Masa Kg
1	0	0,00	101300,00	25,1	298,25	0,5	0,000	0,000
2	0	0,00	101300,00	25,3	298,45	0,5	0,000	0,000
3	0	0,00	101300,00	25,1	298,25	0,5	0,000	0,000
4	0	0,00	101300,00	26,2	299,35	0,5	0,000	0,000
5	0	0,00	101300,00	26,5	299,65	0,5	0,000	0,000
6	1,5	10342,14	111642,14	28,7	301,85	0,5	22,242	0,357
7	1,7	11721,09	113021,09	29,4	302,55	0,5001	22,469	0,360
8	2	13789,51	115089,51	29,5	302,65	0,5001	22,873	0,367
9	1,5	10342,14	111642,14	30,2	303,35	0,5001	22,136	0,355
10	2	13789,51	115089,51	29,7	302,85	0,5002	22,862	0,367
11	2,1	14478,99	115778,99	29,7	302,85	0,5003	23,004	0,369
12	3	20684,27	121984,27	29,8	302,95	0,504	24,408	0,392
13	2,5	17236,89	118536,89	30,3	303,45	0,507	23,820	0,382
14	2,9	19994,80	121294,80	30,4	303,55	0,51	24,510	0,393
15	2,5	17236,89	118536,89	30,4	303,55	0,512	24,047	0,386
16	2,1	14478,99	115778,99	30,4	303,55	0,522	23,946	0,384
17	2	13789,51	115089,51	30,6	303,75	0,534	24,335	0,390
18	1,9	13100,04	114400,04	30,7	303,85	0,548	24,815	0,398
19	1,5	10342,14	111642,14	31,4	304,55	0,551	24,293	0,390
20	2,9	19994,80	121294,80	31,4	304,55	0,565	27,064	0,434
21	2	13789,51	115089,51	31,4	304,55	0,567	25,771	0,413
22	2,9	19994,80	121294,80	31,4	304,55	0,569	27,256	0,437
23	2,5	17236,89	118536,89	32,5	305,65	0,57	26,587	0,426
24	3	20684,27	121984,27	32,5	305,65	0,573	27,504	0,441
25	3	20684,27	121984,27	32,5	305,65	0,578	27,744	0,445
26	3	20684,27	121984,27	32,4	305,55	0,581	27,897	0,447
27	3	20684,27	121984,27	32,4	305,55	0,582	27,945	0,448
28	2,6	17926,37	119226,37	31,5	304,65	0,585	27,535	0,442
29	2,6	17926,37	119226,37	31,5	304,65	0,588	27,677	0,444
30	2,5	17236,89	118536,89	31,5	304,65	0,5882	27,526	0,442
31	2,5	17236,89	118536,89	31,5	304,65	0,5886	27,545	0,442

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

El cuadro 4.3 se muestra la producción final del biogás, donde se obtuvo como resultados una masa total un 0,431 Kg; un volumen de 0,588 m<sup>3</sup>; una temperatura promedio de 303,211 K; y, una presión absoluta de 115022,79 Pas.

**Cuadro 4. 3.** Producción final del Biogás

Presión Absoluta Promedio (pa)	Temperatura Promedio (K)	Volumen Total (m <sup>3</sup> )	Masa Total (Kg)
115022,79	303,2112903	0,5886	0,431

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

## **4.2. GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS**

Dentro de este objetivo se tuvo como resultado la adaptación del motor de gasolina de cuatro tiempos (10 HP), la cual consistió en la elaboración de una pieza PVC de 10 cm que se colocó en la entrada de aire al motor para que el biogás ingresara directamente al cilindro del mismo esto concuerda con lo mencionado por la Universidad Earth (2004) quienes realizaron una investigación para el uso de biogás en un motor de combustión interna para lo cual adaptaron el motor con una pieza similar a la usada en la presente investigación.

Para encender el motor se usó inicialmente gasolina con el fin de realizar las pruebas experimentales para determinar los parámetros en estudio, todo esto utilizando gasolina y biogás para encontrar las curvas características del motor, esto concuerda con lo estipulado por Barahona (2013) quien usó el mismo método para determinar parámetros como torque, potencia, entre otros, en un motor.

Una vez encendido el motor se instaló una valla metálica con 20 focos de 110 Watt, se tomó resultados con las luminarias encendidas y con las mismas apagadas.

**Cuadro 4. 4.** Resumen de los datos del ANOVA en el motor de las variables de gasolina y gas

TIPO DE COMBUSTIBLE	ESTADO DE LAS LUMINARIAS	RUIDO (dBA)	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE ENCENDIDO (sg)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
Biogás	Apagado	69,20 ± 1,06	86,55 ± 1,50	46,00 ± 8,72	1,06
Biogás	Encendido	64,93 ± 1,68	81,74 ± 1,56	26,33 ± 3,21	2,58
Gasolina	Apagado	83,50 ± 3,12	142,53 ± 2,50	886,67 ± 32,15	3,74
Gasolina	Encendido	88,47 ± 3,50	174,33 ± 4,04	898,33 ± 7,64	3,96

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

El cuadro 4.4 muestra los resultados obtenidos de la medición del ruido, temperatura del motor y tiempo de encendido usando como combustible gasolina y gas, tanto con las luminarias encendidas como apagadas. Los coeficientes de variación de los tratamientos son bajos (Pimentel, 1985) por lo que el experimento puede ser considerado como fiable, a excepción en el tiempo de encendido debido al alto presupuesto generado utilizando el biogás.

A simple vista se puede observar una diferencia en la medición del parámetro ruido, lo que supone una ventaja de uno de los combustibles frente al contaminante, en el TULSMA (2008) no se presentan valores límites para generadores eléctricos sin embargo se tomará como referencia los límites permisibles estipulados para motocicletas de hasta 200 cm<sup>3</sup> el cual tiene como nivel de presión sonora (NPS) máxima 80 dBA, con lo cual se discute que el ruido generado por el motor usando gas presenta menores NPS frente a la gasolina.

**Cuadro 4. 5.** Prueba de normalidad de Sharpiro-Wills

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
TEMPERATURA (°C)	12	121,29	40,63	0,77	0,0022
TIEMPO DE ENCENDIDO (sg)	12	464,33	447,52	0,63	<0,0001
RUIDO (DBA)	12	76,53	10,4	0,85	0,065

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

Para el análisis estadístico de los datos se realizó el análisis de la normalidad de los datos mediante la prueba de Sharpiro-Wills (Cuadro 4.5), que para el 5% de significancia, indicó que los datos de temperatura y tiempo de encendido no

poseen una distribución normal (valor de p es menor a 0,05), por lo que se realizó un análisis de varianza no paramétrica Kruskal-Wallis y se determinaron diferencias significativas mediante la prueba de Tukey.

En el caso del ruido, se comprobó mediante la prueba F de igualdad de varianzas el cumplimiento de ambos supuestos del ANOVA (normalidad e igualdad de varianzas) se realizó este análisis y se establecieron diferencias significativas mediante la prueba de Duncan.

**Cuadro 4. 6.** Detalles del resultado del ANOVA del ruido

FACTOR DE VARIACIÓN	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo.</b>	1137,83	3	379,28	58,49	<0,0001
<b>ESTADO</b>	0,37	1	0,37	0,06	0,8178
<b>TIPO DE COMBUSTIBLE</b>	1073,52	1	1073,52	165,56	<0,0001
<b>ESTADO*TIPO DE COMBUSTIBLE.</b>	63,94	1	63,94	9,86	0,0138
<b>Error</b>	51,87	8	6,48		
<b>Total</b>	1189,7	11			

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

El Cuadro 4.6 muestra el análisis de la varianza (ANOVA) de las mediciones obtenidas de ruido con gasolina y gas respectivamente, mismo que detalla la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos y el tipo de combustible aplicado mas no entre el estado de las lámparas (encendido o apagado).

**Cuadro 4. 7.** Prueba de Duncan al 0,5% de significancia del ruido para el tipo de combustible.

TIPO DE COMBUSTIBLE	Medias
<b>Biogás</b>	67,07 A
<b>Gasolina</b>	85,98 B

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De acuerdo al análisis de Duncan, el biogás produce menos ruido que la gasolina, siendo que la gasolina presenta 85,98 dBA y el biogás 67,07 dBA.

**Cuadro 4. 8.** Prueba de Duncan al 0,5% de significancia del ruido para los tratamientos.

ESTADO DE LAS LUMINARIAS	TIPO DE COMBUSTIBLE	RUIDO (dBA)
Encendido	Biogás	64,93 A
Apagado	Biogás	69,20 A
Apagado	Gasolina	83,50 B
Encendido	Gasolina	88,47 C

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De acuerdo a la prueba de Duncan el motor presentó los menores valores de ruido con la utilización del biogás y las luminarias encendidas (64,93 dBA) y el mayor nivel con la utilización de gasolina y las luminarias encendidas.

**Cuadro 4. 9.** Detalles del análisis de varianza Krukall-Wallis de los tratamientos

Variable	TIPO DE COMBUSTIBLE	ESTADO DE LUMINARIAS	N	Medias	D.E.	H	p
Tiempo de encendido (sg)	Biogás	Apagado	3	46	8,72	9,35	0,0247
Tiempo de encendido (sg)	Biogás	Encendido	3	26,33	3,21		
Tiempo de encendido (sg)	Gasolina	Apagado	3	886,67	32,15		
Tiempo de encendido (sg)	Gasolina	Encendido	3	898,33	7,64		
Temperatura (°C)	Biogás	Apagado	3	86,55	1,5	10,38	0,0156
Temperatura (°C)	Biogás	Encendido	3	81,74	1,56		
Temperatura (°C)	Gasolina	Apagado	3	142,53	2,5		
Temperatura (°C)	Gasolina	Encendido	3	174,33	4,04		

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

De acuerdo al análisis estadístico de Krukall-Wallis el valor de p es menor al nivel de significancia (0,05) por lo que se puede definir que existen diferencias significativas entre el tiempo de encendido para los tratamientos aplicados. Por igual, existen diferencias significativas entre la temperatura del motor entre los tratamientos analizados.

**Cuadro 4. 10.** Prueba de Tukey al 0,5% de significancia de los tratamientos.

TRATAMIENTOS	TEMPERATURA	TIEMPO DE ENCENDIDO
Biogás: Encendido	86,55 A	26,33 A
Biogás: Apagado	81,74 AB	46,00 AB
Gasolina: Apagado	142,53 BC	886,67 B
Gasolina: Encendido	174,33 C	898,33 B

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La prueba de Tukey detalla que el tratamiento que presentó el menor tiempo de encendido fue el Biogás con las iluminarias funcionando (26,33 sg) y el que

presento el mayor fue la gasolina con las iluminarias encendidas (898,33 sg). En cuanto a la temperatura del motor el tratamiento que presentó valor fue el Biogás con las iluminarias encendidas (86,55 dBA) y el que presentó el mayor fue la gasolina con las luces en el mismo estado (174,33 dBA).

**Cuadro 4. 11.** Análisis de varianza Krukall-Wallis de los tipos de combustible

VARIABLE	TIPO DE COMBUSTIBLE	N	Medias	D.E.	H	p
Temperatura (°C)	Biogás	6	84,15	2,97	8,31	0,0022
Temperatura (°C)	Gasolina	6	158,43	17,68		
Tiempo de encendido (sg)	Biogás	6	36,17	12,27	8,31	0,0022
Tiempo de encendido (sg)	Gasolina	6	892,5	21,85		

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

De acuerdo al análisis de Kruskal-Wallis, existen diferencias significativas entre los tiempos de encendido y la temperatura del motor con los diferentes tipos de combustible utilizados.

**Cuadro 4. 12.** Prueba de Tukey al 0,5% de significancia de la temperatura del motor para los tipos de combustible.

TIPO DE COMBUSTIBLE	TIEMPO DE ENCENDIDO	TEMPERATURA DEL MOTOR
Biogás	36,17 A	84,15 A
Gasolina	892,5 B	158,43 B

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La prueba de Tukey mostró que el combustible que presentó mayor tiempo de encendido y temperatura del motor fue la gasolina con un promedio de 892,5 sg y 158,43°C respectivamente; el menor tiempo de encendido (36,17 sg) y temperatura lo presentó el biogás (84,15 °C).

**Cuadro 4. 13.** Análisis de varianza Krukall-Wallis del estado de las luminarias.

Variable	ESTADO DE LUMINARIAS	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Temperatura (°C)	Apagado	6	114,54	30,72	114	0	>0,9999
Temperatura (°C)	Encendido	6	128,04	50,79	126,5		
Tiempo de encendido (sg)	Apagado	6	466,33	460,93	453	0,52	0,513
Tiempo de encendido (sg)	Encendido	6	462,33	477,64	460		

Fuente: Mendoza y Zambrano (2017)

El tiempo de encendido y la temperatura del motor no presentaron diferencias significativas de acuerdo al estado de las luminarias (encendidas o apagadas).

### 4.3. CALCULO DEL COMPORTAMIENTO PRODUCIDO EN EL MOTOR MECÁNICO A CUATRO TIEMPOS

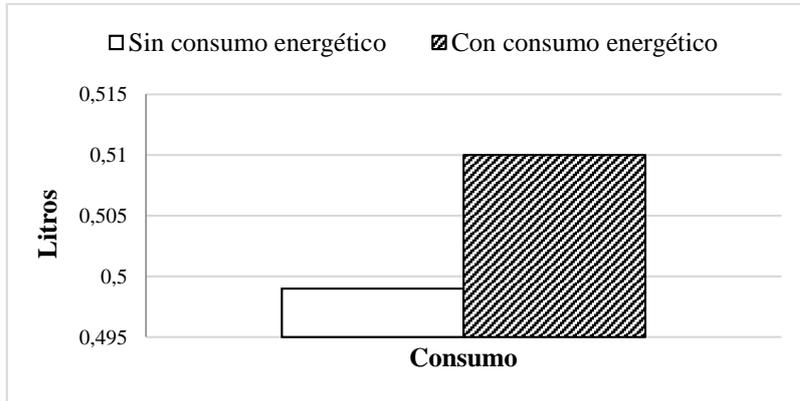


Gráfico 4.1. Relación del consumo de combustible (gasolina)

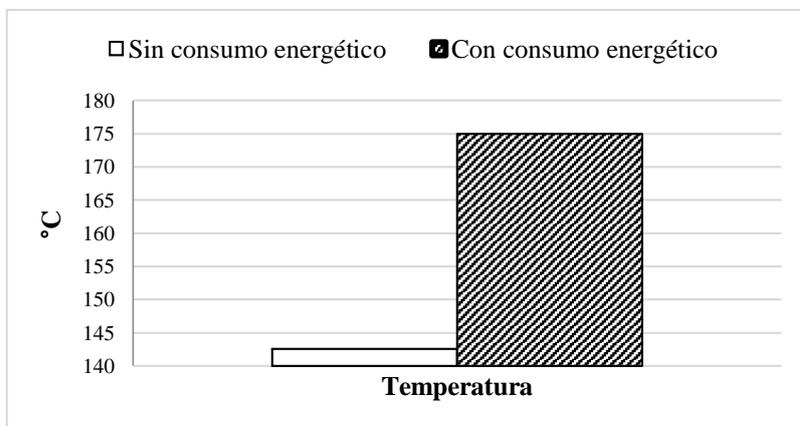


Gráfico 4.2. Relación de temperatura de gases de escape

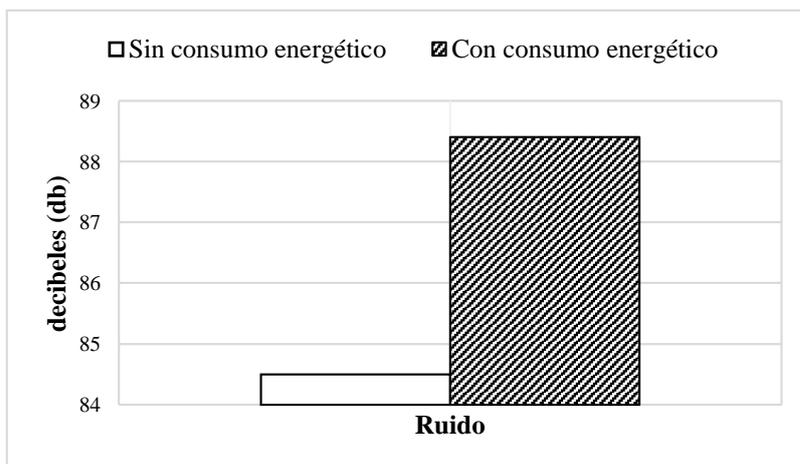
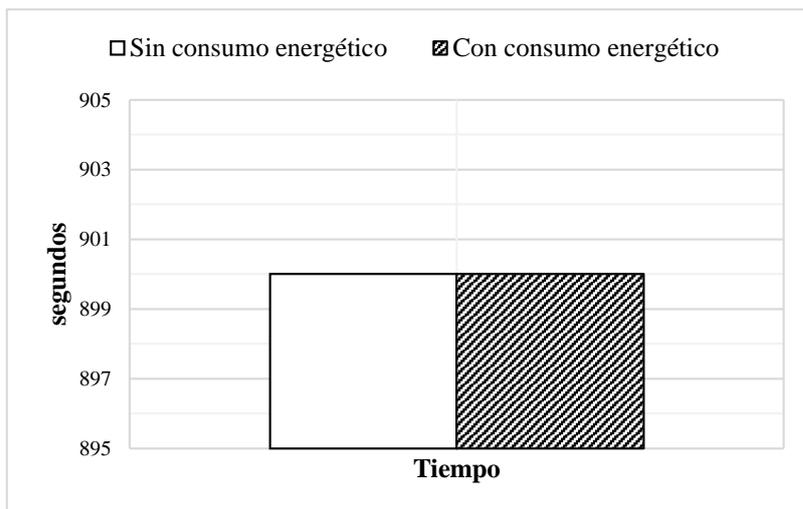
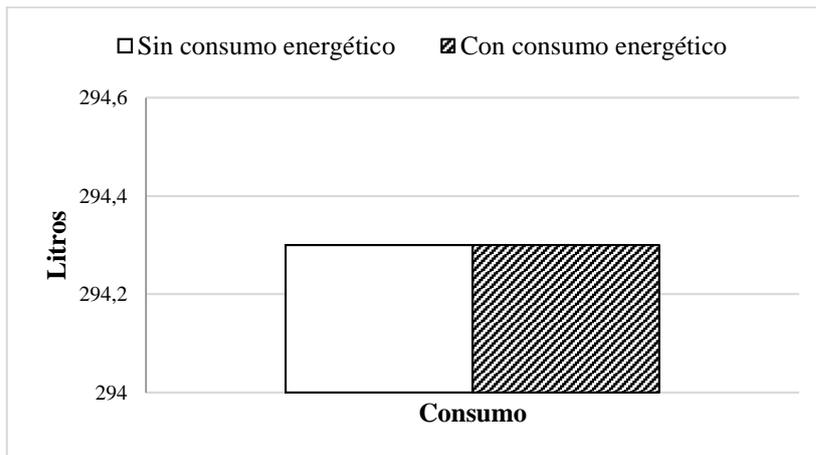


Gráfico 4.3. Relación de ruido del motor

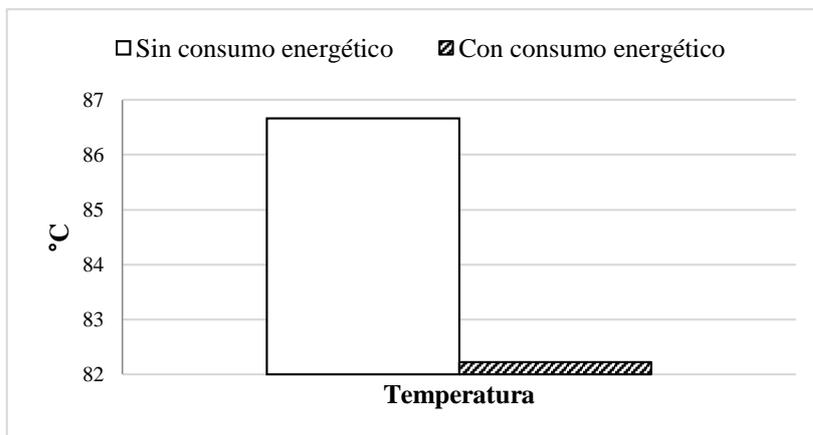


**Gráfico 4.4.** Relación del tiempo de encendido del motor

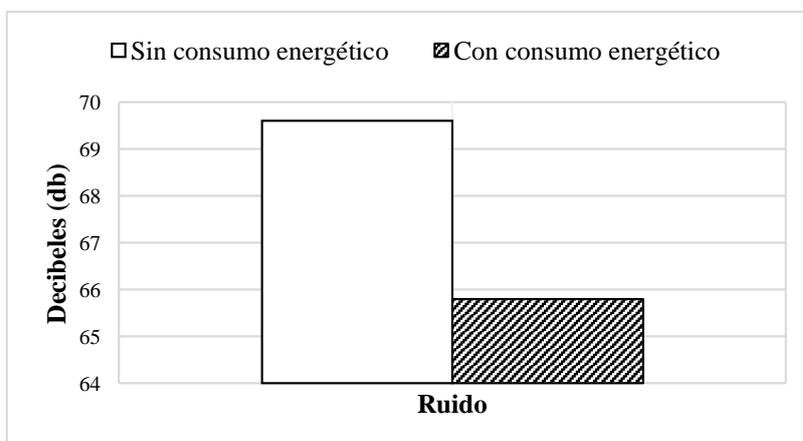
En los gráficos expuestos anteriormente, se muestra la prueba de comportamiento del motor con gasolina, en el cual se realizó el cálculo del tiempo de encendido del motor, para el que estableció un tiempo de 900 segundos, dando como resultado el consumo de combustible 0,51 litros con el uso de la valla usando 20 focos (anexo 1.M), y sin consumo energético 0,499 litros de combustible. En esta se midió la temperatura del motor alimentado con gasolina, la cual se la realizó con una pistola láser, usando el mismo tiempo de encendido del motor, obteniendo una temperatura de gases de escape de 175 °C con el uso de la valla y una temperatura de 142.6 °C sin consumo de energía, a su vez se calculó el ruido del motor el cual se la realizó con un sonómetro dando 88.4 de dBA con el uso de la valla y 84.5 de dBA sin consumo energético. Angamarca y Arequipa (2014) indican que el incremento del consumo de combustible en relación al régimen de giro del motor – generador en el consumo de los dos combustibles de prueba, de tal manera que a 2400 rpm se tiene un consumo de 0.45 Kg/h de gasolina y 3600 rpm de 0,93 Kg/h de gasolina. El rendimiento volumétrico con gasolina es del 31,4 % a 3600 rpm y el rendimiento térmico con gasolina es de 25,3 % a 3600 rpm, este rendimiento representa que por los 892,5 sg encendido el motor con gasolina se obtuvo un costo de 0,15 centavos.



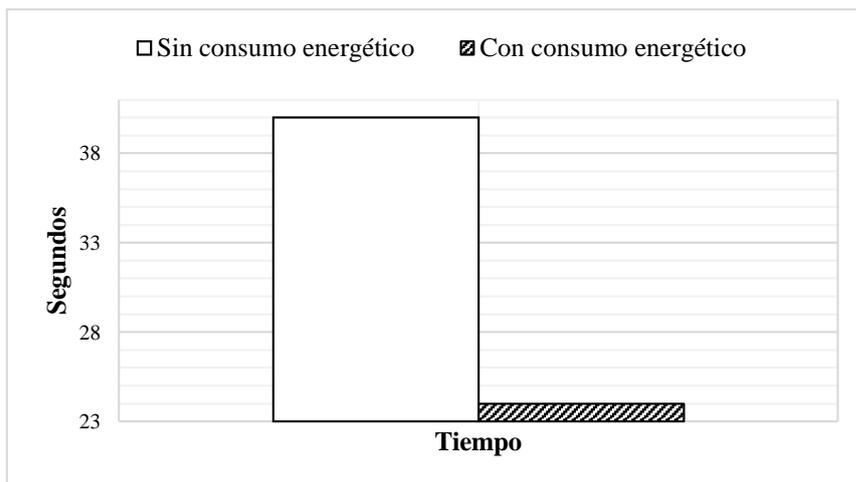
**Gráfico 4.5.** Relación del consumo de combustible (Biogás)



**Gráfico 4.6.** Relación de temperatura de gases de escape

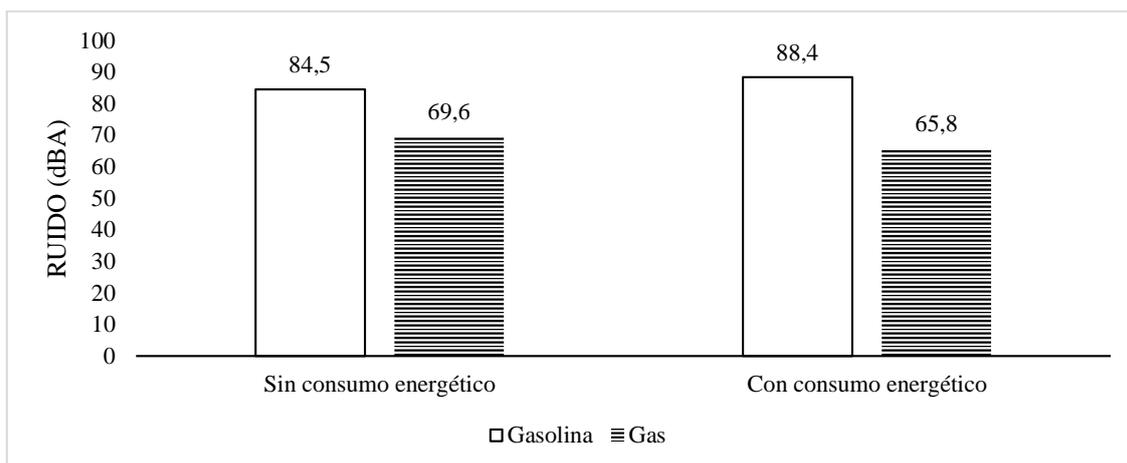


**Gráfico 4.7.** Relación de ruido del motor



**Gráfico 4.8.** Relación del tiempo de encendido del motor

Posteriormente se realizó la medición del rendimiento del motor con el uso del biogás, la cual se muestra en los gráficos anteriormente presentados, utilizando un volumen de 294,3 L de biogás, la cual tuvo una duración de 40 segundos, una temperatura de gases de escape en el motor de 86.6 °C y 69.6 dBA en ruido sin el uso de la valla. Seguido de esto se procedió a realizar la prueba con el uso de la valla utilizando 20 focos (110 Watt), con un volumen de 294,3 L de biogás, el cual tuvo una duración de encendido de 24 segundos, dando como resultado una temperatura de 82.22 °C de gases de escape en el motor y un 65.8 dBA en ruido (anexo 1.S). Angamarca y Arequipa (2014) señalan que con biogás el motor – generador consume 0,70 Kg/h de biogás a 2400 rpm y 1,39 Kg/h de biogás a 3600 rpm, se tiene un incremento del consumo de combustible que varía entre el 10 al 15 % en función del régimen de giro, el rendimiento volumétrico con biogás es de 40,6 % a 3600 rpm, y el rendimiento térmico con biogás de 42,36 % a 3600 rpm, este rendimiento representa, que por los 29 segundos que se mantuvo el motor encendido con biogás se obtuvo un costo de 200 dólares, los cuales son la inversión para realizar la prueba con este combustible.



**Gráfico 4.9.** Comparación general del ruido del motor

En el gráfico 4.9, se muestra la comparación de los resultados obtenidos en el cálculo del ruido producido por el motor, tanto con el combustible convencional y con el biogás, en el cual se observa una mínima ventaja por parte del biogás en la prueba de ruido realizada con el consumo energético, estos datos fueron obtenidos a partir del uso del sonómetro marca CESVA-SC160 facilitado por el GAD Municipal del Cantón Bolívar, el cual está debidamente calibrado para realizar este tipo de prácticas (anexos 1.U-1.VG)

En el estudio realizado se logró determinar que el uso de biogás no genera un alto rendimiento en un motor de combustión interna, por lo tanto no es factible su uso, porque en los resultados dentro de las comparaciones se pudo determinar que con un mínimo consumo de gasolina el motor tiene un alto tiempo de encendido y con el biogás con un alto consumo del mismo, el motor tiene un mínimo tiempo de encendido, tomando en cuenta que no hubo diferencias dentro de los datos obtenidos en los indicadores de ruido y temperatura con el uso de los 2 combustibles, sin embargo Doroteo (2012), señala que el biogás es una opción real en la oferta de energías sustentables, con sustanciales ventajas comparativas respecto a otras fuentes, además de que contribuye en la disminución del consumo de combustibles fósiles y fuentes de energía que en este caso en particular son costosas y poco accesibles, reduce el efecto de la contaminación local y regional. Según Vera (2012)

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. CONCLUSIONES

- Se mezcló agua, excretas e higuera en porcentajes de 50, 40, 10 por ciento respectivamente, los primeros 5 días no hubo generación de gas, esto se puede demostrar con el no incremento de la presión durante este lapso de tiempo; al final se obtuvo 0,431 Kg de masa de gas, un volumen de 0,588 m<sup>3</sup>, una temperatura promedio de 303,211 °K; y, una presión absoluta de 115,02279 Kpa.
- El análisis de la varianza (ANOVA) detalla la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos y el tipo de combustible aplicado. De acuerdo al análisis estadístico de Krukall-Wallis el valor de p es menor al nivel de significancia (0,05) por lo que se puede definir la existencia de diferencias significativas entre el ruido en los tratamientos y el tipo de combustible aplicado mas no entre el estado de las lámparas (encendido o apagado), al igual que existen diferencias significativas en el tiempo de encendido y la temperatura del motor entre los tratamientos.
- En el cálculo del comportamiento del motor se concluye que el combustible que presentó mayor tiempo de encendido y temperatura del motor fue la gasolina con un promedio de 892,5 sg y 158,43°C respectivamente; el menor tiempo de encendido (36,17 sg) y temperatura lo presentó el biogás (84,15 °C), en el indicador ruido, el biogás produce menos dBA que la gasolina, teniendo 67,07 dBA y la gasolina 85,98 dBA
- En los 892,5 sg de encendido el motor con gasolina se obtuvo un costo de 20 centavos y el con gas se obtuvo un costo de 200 dólares en los 36,17 segundos de encendido, se considera que el uso de gasolina produce un mayor rendimiento, y a su vez se considera no factible el uso del biogás en el mismo.

## 5.1. RECOMENDACIONES

- La construcción del digestor debe hacerse de manera cautelosa evitando fugas, y que este se coloque en una zona donde reciba directamente los rayos solares para acelerar el proceso de producción de gas.
- Realizar un adaptador de presión diferente al cilindro del motor para la alimentación del biogás para probar si el rendimiento cambia.
- Replicar la investigación usando como indicadores de eficiencia, los gases contaminantes emitidos a la atmosfera ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) para determinar si existen diferencias significativas frente al uso de combustibles fósiles.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, V. 2015. Diseño e implementación de un biodigestor para el tratamiento de excretas de ganado bovino Cadet-Tumbaco 2015. (En línea). EC. Consultado, 15 de enero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6441/3/T-UCE-0004-18.pdf>
- AGENEX. (Agencia Extremeña de la Energía). 2007. Los residuos ganaderos. (En línea) US. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.agenex.net/images/stories/deptos/los-residuos-ganaderos.pdf>
- Alarcón, M. 2010. Los motores y combustibles de los automóviles del hoy y del futuro. (En línea). ES. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.um.es/aulasenor/saavedrafajardo/apuntes/doc/motores.pdf>
- Alegría, J. 2003. Puesta a punto del biodigestor. (En línea). CU. Consultado, 10 de enero 2016. Formato HTML. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos46/reconstruccion-biodigestor/reconstruccion-biodigestor2.shtml#ixzz3zt05hM7T>.
- Angamarca, E; Arequipa, D. Análisis Del Rendimiento De Un Motor De Combustión Interna Con Biogás Y Aplicación Para La Generación De Energía Eléctrica. (En línea). EC. Consultado, 22 febrero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/8764>
- Barahona, F. 2013. Desarrollo, construcción y pruebas de un sistema de uso de biogás como combustible en un motogenerador eléctrico rural. (En línea). EC. Consultado, 19 febrero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/2658/1/65T00086.pdf>
- Bedoya, I; Arrieta, A; Cadavid, F; Pareja, J. 2007. Efecto del grado de carga y la cantidad del combustible piloto en el comportamiento mecánico ambiental de un motor dual diésel-biogás para generación de electricidad. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia. N. ° 42. pp. 79-93.
- Blanco, R. 2012. Como funciona un motor a gasolina. (En línea). ESP. Consultado, 25 junio 2015. Formato HTML. Disponible en: <http://www.highmotor.com/como-funciona-motor-gasolina.html>
- Cepero, J; Savran, V; Blanco, D; Díaz, P; Suárez, J; Palacios, A. 2012. Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Matanzas, CUB. Pastos y Forrajes vol.35 no.2
- Chung, C. 2008. Enfoques Cuantitativo-Deductivo y Cualitativo-Inductivo. (En línea). PE. Consultado, 19 abril 2008. Formato HTML. Disponible en:

<http://carloschungr.blogspot.com/2008/04/enfoques-cuantitativo-deductivo-y.html>

- Colos, A. 2015. Relación entre el potencial bioquímico de metano y la actividad enzimática medida con la técnica de Miller en inóculos anaerobios de purín de vacuno. (En línea). ESP. Consultado, 15 de enero 2017. Formato PDF. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/63794/Relaci%C3%B3n%20entre%20el%20potencial%20bioqu%C3%ADmico%20de%20metano%20y%20la%20actividad%20enzim%C3%A1tica%20medida%20con%20la%20t%C3%A9cnica%20.pdf?sequence=1>
- Contreras, A; Lira, G. 2011. Regulación automática del sistema de alimentación de biogás de un motor de combustión interna. (En línea). PE. Consultados, 21 marzo 2017. Formato PDF. Disponible: [https://guzlop-editoras.com/web\\_des/ing01/mecanica/pld0441.pdf](https://guzlop-editoras.com/web_des/ing01/mecanica/pld0441.pdf)
- DMYH (De máquinas y herramientas). 2011. Pistolas para Medición de Temperatura. (En línea). AR. Consultado. 11 de agosto 2016. Formato HTML. Disponible en: <http://www.demaquinasyherramientas.com>
- Doroteo, J. 2012. Aprovechamiento del Biogás proveniente del abono del ganado vacuno en un establo ubicado en Ixtapaluca estado de México. (En línea). MX. Consultado, 16 febrero 2016- Formato PDF. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11057/52.pdf?sequence=1>
- Elizondo, D. 2005. El biodigestor. (En línea). CR. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_animal/brochure-biodigestor.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/brochure-biodigestor.pdf)
- EPN (Escuela Politécnica Nacional). 2010. Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas. (En línea). EC. Consultado, 10 noviembre 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf>
- Espinoza, M. 2010. Mantenimiento correctivo a un motor de combustión interna. (En línea). MX. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/files/605/16296711.pdf>.
- FAO (Organizaciones de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación). 2006. Las repercusiones del ganado en el medio ambiente. (En línea). EC. Consultado, 18 octubre 2015. Formato HTML. Disponible <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0612sp1.htm>
- \_\_\_\_\_. 2009. Agricultura Orgánica. (En línea). EC. Consultado, 20 octubre 2015. Formato HTML. Disponible en: <http://www.boletinagrario.com/ap-6,estiercol,948.html>

- \_\_\_\_\_. 2011. Manual de Biogás. (En línea). CH. Consultado, 19 febrero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Fernández, F; Duarte, J. 2013. Módulo para la medición de variables en motores de combustión interna. (En línea). CO. Consultado, 22 febrero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v9n2/v9n2a18.pdf>
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe). 2010. Biogás. (En línea). AL. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfadenbiogas-es-2013.pdfG>
- García, 2004. Funcionamiento de un motor a gasolina. (En Línea). CO. Consultado, 25 junio 2016. Formato HTML. Disponible en: [http://www.asifunciona.com/mecanica/af\\_motor\\_gasolina](http://www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina)
- González, F. 2013. Fuentes de Energía Distribuida Tecnologías Disponibles. (En línea). VE. Consultado, 22 febrero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fglongatt.org/OLD/Articulos/A2003-01.pdf>
- Gordon, J; Samaniego, J.2014. Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la finca “Los 5 Hermanos” de la parroquia el Dorado. CHIMBORAZO, EC. IDENTIFICADOR. UDCTFC; 236T0094.
- Hernández, P; Llerena, E, Padilla, J. 2013. La construcción de biodigestores. Una alternativa sostenible en el secadero de arroz de San José de los Ramos en Colón, Matanzas, Cuba. No. 249.
- Hilbert, J. 2010. Rendimiento comparativo de biodiesel y gasoil en tractores agrícolas. (En Línea). CO. Consultado, 25 junio 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://agrolluvia.com/wpcontent/uploads/2010/02/rendimitivo-de-biodiesel-y-gasoil-en-tractores-agricolas.pdf>
- Ku, J; Ayala, A; Pérez, C; Herrera, J. y Castelán, O. 2012. Emisiones de metano por rumiantes, implicaciones para el calentamiento global. (En línea). MX. Consultado, 18 octubre 2015. Formato HTML. Disponible en: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/259/articulos/emisiones-de-metano.html>
- Ley de prevención y control de la contaminación ambiental. 2004. Cuidado del medio ambiente. Artículo 4. (En línea). EC. Consultado, 18 octubre 2015. Formato PDF. Disponible en: [http://www.utpl.edu.ec/obsa/wpcontent/uploads/2012/09/ley\\_de\\_prevenicion\\_y\\_control\\_de\\_la\\_contaminacion\\_ambiental.pdf](http://www.utpl.edu.ec/obsa/wpcontent/uploads/2012/09/ley_de_prevenicion_y_control_de_la_contaminacion_ambiental.pdf)
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). San José. 1991. HIGUERILLA. (En línea). CR. Consultado. 11 agosto 2016. Formato PDF. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_ciencia/tec-higuerilla.pdf](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec-higuerilla.pdf)

- Mantilla, J. 2008. Evaluación experimental de un motor encendido por chispa que utiliza biogás como combustible. (En Línea). CO. Consultado, 25 junio 2016. Formato PDF. Disponible en. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0120-56092008000200016](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120-56092008000200016)
- Martina, P; Corace, J; Aeberhard, A; Aeberhard, R; 2003. Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. (En Línea). AR. Consultado, 08 ago. 2016. Formato Doc. Disponible en. [ing.unne.edu.ar/pub/biogas1.doc](http://ing.unne.edu.ar/pub/biogas1.doc)
- Moreno, A. 2005. motores de combustión interna. (En Línea). CO. Consultado, 25 junio 2016. Formato HTML. Disponible en. <http://www.mailxmail.com>
- Morrillo, P y Zambrano, L. 2012. Biodigestión de los desechos generados en la extracción de aceite de la semilla de higuierilla (*ricinus communis*) para la obtención de biogás. Tesis. Ing. Ambiental. ESPAM MFL. Calceta-Manabí, EC. p 23, 24 y 33
- Orozco, J; Botero, C. 2004. Utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos Universidad EARTH. CR. Serie Documentos Técnicos No. 2004-3.
- Quesada, R. Salas, N. Arguedas, M. Botero, R. Generación De Energía Eléctrica A Partir De Biogás. (En línea). CR. Consultado, 22 de febrero 2017. Formato PDF. Disponible en: [http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46207624/Convertir\\_Biogas\\_en\\_Energia\\_Electrica.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1487801761&Signature=G5huOyUlgjRjcPAsnGLQ3ZFOHac%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dgeneracion\\_de\\_energia\\_electrica\\_a\\_partir.pdf](http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46207624/Convertir_Biogas_en_Energia_Electrica.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1487801761&Signature=G5huOyUlgjRjcPAsnGLQ3ZFOHac%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dgeneracion_de_energia_electrica_a_partir.pdf)
- Rodríguez, C. 2002. Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC. (En línea). AR. Consultado, 10 enero 2016. Formato HTML. Disponible en: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Rodríguez, P. 2006. Evaluación del impacto ambiental en la producción agrícola. Diplomado en soporte digital. UO, Santiago de cuba. (En línea). CUB. Consultado, 10 enero 2016. Formato HTML. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos82/impacto-residuos-organicos-propiedades-suelo/impacto-residuos-organicos-propiedades-suelo2.shtml#ixzz3znpjR1ohm>
- Salazar, J. 2005. Motor de combustión interna. (En línea). MX. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos94/motor-combustion-interna/motor-combustion-interna.shtml>

- SAPA (Sitio Argentino De Producción Animal). 2011. Estudio de performance ambiental. (En línea). AR. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/15-beneficios.pdf>
- Silva, J. 2000. Motores que usan biogás como combustible. (En línea). MX. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>
- Silva, P. 2010. Tecnología del biogás. (En línea). MEX. Consultado 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>
- SUSTAININGAS. 2013. Producción de Biogás. (En línea). AL. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1639-biogaserzeugung-es.pdf>
- Tecnovia, 2012. los límites de la eficiencia térmica en motores gasolina y diésel. (En Línea). BR. Consultado, 25 junio 2016. Formato PDF. Disponible en. <http://www.diariomotor.com/tecmovia>
- Tejedo, E; Yopan, J. 2014. Rendimiento de biogás como combustible en un grupo, electrógeno de 1 kW. Fundo san isidro, colcamar. (En línea). CO. Consultado, 21 marzo 2017. Formato PDF. Disponible: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/untrm/647>
- TULSMA (Texto Unificado De la Legislación Ambiental Secundaria). 2008. Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones. (En línea). EC. Consultado, 15 de enero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112184.pdf>
- UNC. (Universidad Nacional de Colombia). 2014. Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. (En línea). CO. Consultado, 25 junio 2016. Formato PDF. Disponible en. <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n39/v18n39a12.pdf>
- UNI. (Universidad Nacional de Ingeniería). 2004. Uso de biogás en motores de combustión interna. (En línea). PR. Consultado, 25 junio 2016. Formato HTML. Disponible en. [http://www.motores.uni.edu.pe/pry\\_01.html](http://www.motores.uni.edu.pe/pry_01.html)
- Universidad Earth, 2004. utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos. (En línea). CR. Consultado, 25 junio 2016. Formato PDF. Disponible en. <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000091.pdf>
- UPS (Universidad Politécnica Salesiana). 2011. Generación de biogás (En línea). EC. Consultado, 10 de enero 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1593/15/UPS-GT000209.pdf>

- UTC. 2011. Motor de combustión interna. (En línea). EC. Consultado, 10 de Enero 2016. Formato PDF. Disponible en: [http://www.academia.edu/5205173/PDF\\_MOTOR\\_DE\\_COMBUSTION\\_INTERNA](http://www.academia.edu/5205173/PDF_MOTOR_DE_COMBUSTION_INTERNA)
- Vera, G. 2012. Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. (En línea). MX. Consultado, 15 de enero 2017. Formato PDF. Disponible en: [http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85\\_1\\_GUTIERREZ\\_GARCIA\\_ET\\_AL.pdf](http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_1_GUTIERREZ_GARCIA_ET_AL.pdf)

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Registro fotográfico

### Anexo 1. A. Higuerilla



### Anexo 1. B. Recolección de estiércol de ganado bovino.



### Anexo 1. C. Construcción del biodigestor.



**Anexo 1. D. Implementación de tuberías del biodigestor hacia el gasificador**



**Anexo 1. E. Preparación de la mezcla para producir biogás**



**Anexo 1. F. Preparación de la mezcla para producir biogás**



**Anexo 1. G. Preparación de la mezcla****Anexo 1. H. Preparación de la mezcla para producir biogás.****Anexo 1. I. Colocación de la mezcla en el biodigestor**

**Anexo 1. J. Biodigestor y gasificador**



**Anexo 1. K. Cambio de tuberías en el biodigestor**

**Anexo 1. L. Toma de presión diariamente**



**Anexo 1. M. Valla para 50 focos.**



**Anexo 1. N.** Motor de combustión interna de 4 tiempos.



**Anexo 1. O.** Instalación de un manómetro en el gasificador.



**Anexo 1. P.** Prueba del motor utilizando gasolina en la valla de focos con consumo energético.



**Anexo 1. Q.** Instalación completa para la realización en la prueba de los 3 indicadores



**Anexo 1. R.** Paso del biogás hacia el motor.



**Anexo 1. S.** Prueba del motor usando el biogás como combustible, con consumo energético.



**Anexo 1. T. Pistola de medición de temperatura**



**Anexo 1. U. Sonómetro**



## Anexo 1.V. Certificado de calibración del sonómetro



**Gobierno Autónomo Descentralizado  
Municipal del Cantón Bolívar**  
UNIDAD DE MEDIO AMBIENTE SANIDAD LOCAL Y DESECHOS SOLIDOS  
Calceta – Manabí - Ecuador

**Calceta 24 de Abril del 2017**

**CERTIFICACIÓN**

El que suscribe el Jefe de La Unidad de Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Bolívar **certifica Que:**

El sonómetro de la Institución marca CESVA-SC160 es un sonómetro integrador promediador clase 2 según las normas internacionales IEC61672-1:02, IEC60651:01 e IEC60804:00 y sus correspondientes comunitarias EN61672-1:03, EN60651:94/A1:94/A1:94/A2:01 y EN60804:00 además es un analizador de espectro en tiempo real por bandas de octava cubriendo el margen frecuencial de 22Hz a 22,5 kHz con filtros de octava clase 2 según IEC61260:1995/A1:01 el mismo que fue calibrado el 19 de Diciembre del 2016 en DISETEC de la ciudad de Quito y cuya calibración se le realiza de forma trimestral.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Atentamente



Ing. José Manuel Mera Z.  
*Jefe de la Unidad de Ambiente*

*Calceta "La Sin Par"*

Dirección: calle Bolívar y Pichincha  
Teléfs: 052 685 122 Telefax: 052 685 120  
www.cantonbolivar.gob.ec  
e-mail: municipiodebolivar1913@hotmail.com  
Bolivar - Manabí - Ecuador