



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS
DE UN SISTEMA DE USO DE BIOGÁS COMO
COMBUSTIBLE EN UN MOTOGENERADOR
ELÉCTRICO RURAL”**

BARAHONA DEFAZ FREDDY ARMANDO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-05-24

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

FREDDY ARMANDO BARAHONA DEFAZ

Titulada:

**“DESARROLLO CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA DE USO
DE BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE EN UN MOTOGENERADOR
ELÉCTRICO RURAL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.

DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Gilberto Zabala N. MsC.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Rodrigo Díaz MsC.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Freddy Armando Barahona Defaz

TÍTULO DE LA TESIS: “DESARROLLO CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UN SISTEMA DE USO DE BIOGÁS COMO COMBUSTIBLE EN UN MOTOGENERADOR ELÉCTRICO RURAL”

Fecha de Examinación: 2013-06-28.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Gilberto Zabala N. MsC. (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Rodrigo Díaz MsC. (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Freddy Armando Barahona Defaz

DEDICATORIA

Dedico esta nueva meta a mis padres por apoyarme incondicionalmente, a mis hermanos y mi familia en general.

Freddy Armando Barahona Defaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, a mis padres por ser mi apoyo y motivación en los momentos más complicados, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de mi vida.

Freddy Armando Barahona Defaz

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	
2.1 Origen del biogás.....	4
2.1.1 <i>Utilización del biogás</i>	5
2.1.2 <i>El biogás en el Ecuador</i>	6
2.1.3 <i>Características del biogás</i>	6
2.1.4 <i>Uso del biogás</i>	7
2.1.5 <i>Combustión del biogás</i>	8
2.1.6 <i>Evaluación comparativa de las propiedades de los combustibles líquidos con el biogás, en aplicaciones a motores de combustión interna</i>	9
2.1.7 <i>Efectos de la corrosión</i>	11
2.1.8 <i>Estudio del efecto de la corrosión en motores de combustión interna</i>	12
2.1.9 <i>Corrosión en cilindros y piezas del motor durante las paradas</i>	12
2.1.10 <i>Corrosión en culatas y camisas de cilindros</i>	12
2.1.11 <i>Determinación de los elementos corrosivos en el biogás</i>	12
2.1.12 <i>Eliminación del azufre contenido en el biogás</i>	13
2.1.13 <i>Forma de extraer el CO₂ del biogás</i>	14
2.1.14 <i>Purificación del biogás</i>	14
2.2 Estudio del consumo de combustible en un motor de gasolina.....	16
2.2.1 <i>La generación de energía eléctrica</i>	16
2.2.2 <i>Determinación del tipo de planta eléctrica</i>	16
2.2.3 <i>Motor de dos tiempos</i>	17
2.2.4 <i>Motor de cuatro tiempos</i>	17
2.2.5 <i>El motor de combustión interna aspectos generales</i>	18
2.2.6 <i>Motor</i>	18

2.2.7	<i>Sistema de alimentación.....</i>	20
2.2.8	<i>Sistema de encendido.....</i>	20
2.2.9	<i>Sistema de arranque.....</i>	20
2.2.10	<i>Lubricación.....</i>	20
2.2.11	<i>Refrigeración.....</i>	21
2.2.12	<i>Funcionamiento general del sistema.....</i>	21
2.2.13	<i>Precauciones.....</i>	21
2.3	Evaluación de las características técnicas más representativas en la producción de electricidad.....	21
2.3.1	<i>Características técnicas del motor.....</i>	21
2.3.2	<i>Formulación básica.....</i>	22
2.3.3	<i>Torque.....</i>	22
2.3.4	<i>Potencia al freno.....</i>	22
2.3.5	<i>Consumo de aire.....</i>	23
2.3.6	<i>Consumo de combustible.....</i>	23
2.3.7	<i>Consumo específico de combustible.....</i>	24
2.3.8	<i>Rendimiento térmico.....</i>	24
2.3.9	<i>Relación aire / combustible.....</i>	25
3.	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE BIOGÁS Y MONTAJE	
3.1	Adaptación del carburador del motor de combustión interna de la planta para consumir biogás.....	26
3.1.1	<i>Diámetro de entrada de aire del cuerpo del carburador.....</i>	26
3.1.2	<i>Cantidad de aire.....</i>	27
3.1.3	<i>Cantidad de combustible.....</i>	27
3.2	Circuito de alimentación de gas metano hacia la planta eléctrica.....	28
3.2.1	<i>Elementos dentro del circuito.....</i>	28
3.2.2	<i>Funcionamiento general del sistema.....</i>	28
3.3	Cantidad de energía eléctrica vs cantidad de biogás.....	
4.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOGENERADOR UTILIZANDO EL BIOGÁS	
4.1	Resultados con gasolina.....	32

4.1.1	<i>Torque</i>	32
4.1.2	<i>Potencia al freno</i>	32
4.1.3	<i>Consumo de combustible</i>	33
4.1.4	<i>Consumo específico de combustible</i>	33
4.1.5	<i>Eficiencia térmica</i>	33
4.1.6	<i>Potencia eléctrica disipada</i>	33
4.2	Cálculo de los parámetros del motor utilizando biogás.....	36
4.2.1	<i>Torque</i>	38
4.2.2	<i>Potencia al freno</i>	38
4.2.3	<i>Consumo de combustible</i>	38
4.2.4	<i>Consumo específico de combustible</i>	38
4.2.5	<i>Eficiencia térmica</i>	38
4.2.6	<i>Potencia eléctrica disipada</i>	39
4.3	Análisis y discusión de resultados.....	41
5.	EVALUACIÓN DE COSTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO	
5.1	Costos de la inversión.....	44
5.1.1	<i>Costos directos</i>	44
5.1.1.1	<i>Materiales</i>	44
5.1.2	<i>Costos indirectos</i>	45
5.1.2.1	<i>Asesoramiento profesional e ingeniería</i>	45
5.1.2.2	<i>Gastos de investigación</i>	45
5.1.2.3	<i>Costos de ensayos y pruebas</i>	46
5.1.3	<i>Costo total</i>	46
5.2	Costos de producción.....	46
5.2.1	<i>Cálculo del costo de metro cúbico de biogás</i>	47
5.2.2	<i>Cálculo del costo del kilovatio hora</i>	47
5.2.3	<i>Cuadro comparativo de disminución de pago por electricidad</i>	48
5.3	Matriz de relación beneficio – impacto.....	49
6.	ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD	
6.1	Funcionamiento.....	52
6.1.1	<i>Pre-operación de verificación</i>	52

6.1.2	<i>Arranque del motor</i>	53
6.1.3	<i>Parada del motor</i>	55
6.2	Uso del generador.....	55
6.2.1	<i>CA Aplicaciones</i>	55
6.2.2	<i>DC Aplicaciones</i>	57
6.3	Mantenimiento.....	57
6.3.1	<i>Juego de herramientas</i>	59
6.3.2	<i>Cambiar el aceite</i>	59
6.3.3	<i>Mantenimiento del filtro de aire</i>	59
6.3.4	<i>Mantenimiento del filtro de combustible</i>	60
6.3.5	<i>Mantenimiento de la bujía</i>	61
6.3.6	<i>Ajuste la correa de transmisión</i>	62
6.3.7	<i>Ajuste de la temporización de encendido</i>	63
6.3.8	<i>Mantenimiento del parachispas</i>	63
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones.....	65
7.2	Recomendaciones.....	67

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Composición general del biogás.....	7
2	Gases contaminantes del biogás.....	15
3	Características técnicas del motor.....	21
4	Características del generador.....	22
5	Datos de la prueba con gasolina.....	34
6	Resultados de la prueba con gasolina.....	34
7	Datos de la prueba con biogás.....	39
8	Resultados de la prueba con biogás.....	39
9	Valores de resultados experimentales correspondientes al mínimo CEC.....	41
10	Adquisición de materiales.....	45
11	Costos de ingeniería.....	45
12	Gastos de investigación.....	45
13	Costos de ensayos y pruebas.....	46
14	Costo total.....	46
15	Costos de producción biogás.....	47
16	Costo unitario del m ³ de biogás.....	47
17	Costo de producción kW.....	47
18	Costo unitario del kW.....	48
19	Cuadro comparativo.....	48
20	Matriz de relación beneficio – impacto.....	49
21	Periodo de mantenimiento del motor.....	58

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Producción del biogás en Europa.....	5
2	Diferentes aplicaciones del biogás.....	7
3	Fases de la fermentación anaerobia.....	15
4	Energía eléctrica.....	16
5	Motor de 2 tiempos.....	17
6	Admisión.....	18
7	Compresión.....	19
8	Trabajo.....	19
9	Escape.....	20
10	Potencia gasolina.....	34
11	Torque gasolina.....	35
12	Consumo específico de combustible gasolina.....	35
13	Potencia biogás.....	40
14	Torque biogás.....	40
15	Consumo específico de combustible biogás.....	41
16	Potencia gasolina vs biogás.....	42
17	Torque gasolina vs biogás.....	42
18	Consumo específico de combustible gasolina vs biogás.....	43
19	Nivel de aceite.....	52
20	Nivel de combustible.....	53
21	Arranque del motor.....	54
22	Arranque del motor.....	54
23	Parada del motor.....	55
24	Medidor de frecuencia.....	56
25	Cambio de aceite.....	59
26	Mantenimiento del filtro de aire.....	60

27	Mantenimiento del filtro de combustible.....	61
28	Mantenimiento de la bujía.....	62
29	Ajuste correa de distribución.....	62
30	Ajuste del temporizador de encendido.....	63
31	Mantenimiento del parachispas.....	64

LISTA DE ABREVIACIONES

AVR	Regulador automático de voltaje
CA	Corriente alterna
CD	Corriente directa
CEC	Consumo específico de combustible
CV	Caballos vapor
GEI	Gases de efecto invernadero
HP	Caballo fuerza
Hz	Hertzio
PH	Potencial de hidrógeno
PMI	Punto muerto inferior
PMS	Punto muerto superior

LISTA DE ANEXOS

- A Biodigestor
- B Suministro de biogás al motor
- C Banco de resistencias
- D Biogás requerido para la producción de energía eléctrica
- E Resultados
- F Diámetro de entrada de biogás

RESUMEN

En la presente investigación esDesarrollo, Construcción y Pruebas un Sistema de Uso de Biogás como Combustible en un MotogeneradorEléctrico, con la finalidad de utilizar este combustible que se produce en el biodigestor que se encuentra en producción en la hacienda Agrogana, ubicada en la ciudad de Latacunga. Se pretende además reemplazar la gasolina con biogás, con aplicación a generar electricidad. Se presenta un análisis experimental y teórico de la operación en motores de combustión interna.

Para el aprovechamiento del biogás se reduce el % de H_2S a través de un filtro de limalla de hierro. La alimentación del biogás hacia el motor se realiza a través de un dispositivo que permite el paso de éste por medio de un orificio que posee un diámetro determinado, para no alterar la integridad del motor en cuanto a sus mecanismos.

Se realizan las pruebas experimentales para hallar los parámetros de torque, potencia y consumo específico de combustible, todo esto utilizando gasolina y biogás, para encontrar las curvas características del motor.

La evaluación de los parámetros mencionados se obtiene, variando la carga a través de un panel de bombillos incandescentes. Un brazo acoplado del generador hacia una balanza, permite medir la fuerza torsional generada por el motor para una carga determinada. Un anemómetro mide la velocidad del flujo de biogás en el motor.

Se demuestra que es factible la adaptación de un motor de gasolina, al uso de biogás, prácticamente utilizando el mismo motor y sus accesorios, sin mayor variación en su principio de funcionamiento.

ABSTRACT

A biogas as fuel in an electric Moto generator was developed, built and tested in this present investigation in order to use this fuel that is produced in the bio digester that is in production at Agrogana farm, located on Latacunga city. It is pretended to replace the fuel with biogas with application to generate electricity. An experimental and theory analysis of the internal-fuel motor running was carried out.

The percentage of H_2S was reduced through an iron filings filter in order to take advantage the biogas. A device passing by a hole having a determined diameter was used for the biogas power in order not to modify the engine integrity regarding the mechanisms.

Experimental tests were carried out to find the torque, potency and specific fuel consumption parameter by using fuel and biogas to find the engine feature curves.

The evaluation of the parameter mentioned above was gotten by changing the charge by incandescent – bulb panel. An arm adjusted to the generator arm to a scale allows measuring the torsional force generated by the engine for a determined charge. An anemometer measures the biogas flow speed in the engine.

It is demonstrated that the adaptation of a fuel engine to biogas is feasible using the same engine and accessories without any further variation in the running.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La producción de energía a partir de la biomasa, es una realidad en nuestro medio, con diversas plantas de producción de biogás, localizadas en distintas provincias del país. De ahí que se ha visto la necesidad de utilizar la energía producida en forma de gas (Metano) en diversas aplicaciones. El presente trabajo abarca una de estas inquietudes, la cual es de aprovechar el metano producido para generar electricidad, utilizándolo como combustible en motores de combustión de pequeños moto-generadores de uso común en zonas rurales, y cuyo rango de generación estará en el presente estudio entre 3,5 kWh a 10 kWh, de energía aprovechable.

1.1 Antecedentes

El gas natural que en su mayor composición es metano, fue utilizado por los pueblos chinos y persas hace miles de años como generador de temperatura. Pasaron muchos años para que se dieran cuenta que el metano no solo se encuentra en el gas natural fósil. En el año de 1776, el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano. Solo 100 años después se descubrió el origen microbiológico de la formación de metano.[1]

En el año de 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con estiércol de vacas. En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar estiércol y agua a una temperatura de 35°C. En 1895 la digestión anaeróbica llegó a Inglaterra cuando el biogás fue recuperado de una instalación de tratamiento de aguas residuales y se usó para alimentar el alumbrado público de Exeter.

Desde los años 1970, la investigación y tecnología del biogás se ha venido desarrollando a pasos agigantados y esta tecnología la ha promovido con singular vigor el gobierno chino. En las áreas rurales, más de 5 millones de pequeños digestores se han construido y actualmente más de 20 millones de personas usan biogás como combustible. En la India, el desarrollo de plantas a biogás para las viviendas rurales empezó en la década de 1950, un incremento acelerado en el número de plantas a biogás se registró en los 70's a través de un fuerte apoyo gubernamental, así más de un millón de plantas de biogás existen en ese país. En Alemania y Dinamarca la diseminación de plantas a biogás se debe a la necesidad de fuentes alternas de energía como frente a economías en crisis energética, además de

la elevación de precios de la electricidad. La primera planta centralizada de biogás en Dinamarca fue establecida en 1984 a iniciativa el fondo de Jutlandia de Norte como una reacción a los altos precios del petróleo a inicio de los años 1980.

Otra razón para implementar un sistema de biogás en una instalación pecuaria, es el control de emisiones de gases de efecto invernadero, en este caso metano. Las actividades agropecuarias contribuyen sustancialmente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de fuentes antropogénica. El metano y el óxido nitroso emitido por el sector agropecuario en el año 2000, en los hasta entonces 15 países de la unión europea, fue el equivalente a 383 mega toneladas de dióxido de carbono, que corresponde aproximadamente al 10% del total de las emisiones de GEI en dicha región geográfica.

Alrededor del 49% de metano y del 63% de óxido nitroso emitido, puede ser atribuido a la producción agropecuaria; dentro de este sector las instalaciones pecuarias representan la mayor fuente de emisiones, y por tanto, es el sector con más área de oportunidad (7) y (8). Sin embargo, la experiencia del biogás en los Estados Unidos en los años 70's y 80's, ha demostrado que la tecnología el biogás no es aplicable a todas las granjas. La producción de biogás se adapta mejor para granjas que manejan grandes cantidades de estiércol como un líquido, pasta o semi-sólido un poco o nada de rastrojo agregado. Aunque hay muchos factores que influyen la producción de biogás a partir del estiércol de ganado, la cantidad de estiércol recolectado determina la cantidad de biogás que puede ser producido.

El tamaño de la instalación referida al número de cabezas de ganado, es un indicador primario para ver si la recuperación del biogás es económicamente factible. Con respecto al ganado bovino, una instalación de 500 cabezas de ganado es el tamaño mínimo recomendable para implementar un sistema de esta naturaleza. [2]

1.2 Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad reducir la contaminación ambiental producida por el estiércol de ganado de la explotación comercial en la granja, además estudiar el biogás como un biocombustible en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica.

Se pretende dejar un prototipo de planta de biogás destinadas a recuperar energía limpia de los desechos orgánicos en nuestro país.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.*- Desarrollar, construir y probar, un sistema de biogás como combustible en un moto-generador eléctrico rural.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Estudiar el consumo de combustible de un motor de gasolina y evaluar las características más representativas de la producción de electricidad.

Seleccionar el sistema de suministro de biogás al motor estacionario.

Montar el sistema.

Realizar pruebas del biogás como combustible en el moto generador, y evaluar las características más representativas.

Analizar y comparar los resultados con gasolina y biogás.

Evaluar costos de la adaptación y realizar el análisis económico.

Elaborar el manual de operación del sistema de producción de electricidad.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

ESTUDIO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UN MOTOR DE GASOLINA Y EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MÁS REPRESENTATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

2.1 Origen del biogás

La creación y utilización del biogás de manera artificial se remonta a la segunda guerra árabe-israelí, a mediados de los años setenta del siglo XX, cuando el precio del petróleo subió al ser utilizado como arma política, lo que hizo que se investigasen otras posibilidades de producir energía. Es entonces cuando se experimentó con reactores, los llamados de alta carga, capaces de retener los microorganismos anaerobios y de tratar las aguas residuales mediante este proceso. En este último caso, se tienen en cuenta las características de composición del agua y siempre que sea ventajoso frente a otras alternativas de tratamiento también se utiliza, aplicándose a los vertidos de la industria agroalimentaria, bebidas, papeleras, farmacéuticas, textiles, etc. [1]

El aprovechamiento de los residuos agrícolas se practica desde hace años en instalaciones individuales del tamaño medio que utilizan el biogás para cocinar o como fuente de iluminación. Esta manera de tratar los residuos es más efectiva, controlada y ecológica que las soluciones tradicionales de tratamiento, el vertido incontrolado. No obstante, el biogás también tiene sus inconvenientes porque, además del metano y dióxido de carbono, pueden aparecer otros componentes minoritarios como el ácido sulfhídrico que es necesario eliminar. Por otra parte, si el residuo queda almacenado en condiciones de ausencia de aire, como ocurre en los estercoleros, se forma metano que escapa a la atmósfera, produciendo efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono sin que se aproveche su energía.

Los residuos orgánicos, son un problema del que hay que solucionar. Esta idea se lleva practicando desde hace años con el denominado biogás.

El biogás se puede generar tanto de forma natural y en este sentido el gas natural no es más que un tipo de biogás surgido por el mismo proceso a partir de residuos orgánicos que quedaron enterrados o de forma artificial, en dispositivos diseñados para eliminar la contaminación e origen orgánico y producir energía. En teoría, una tecnología adecuada puede aprovechar cualquier residuo orgánico para crear biogás y

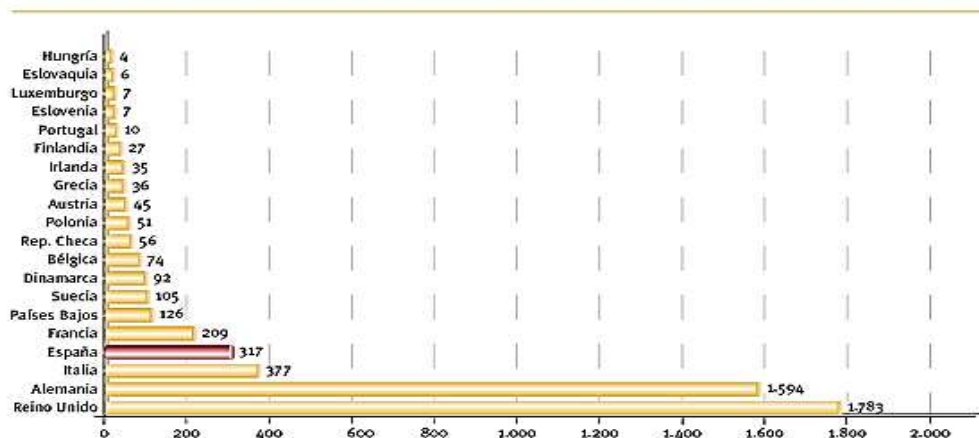
los usos que pueden dársele son los mismos que cuando se utiliza gas natural porque, en definitiva no es más que otra forma de biogás.[2]

2.1.1 Utilización del biogás.En el mundo el uso de biogás es utilizado en Asia es el continente que más instalaciones de biogás ha construido. En 1973 se creó la Oficina de Difusión del Biogás y posteriormente el Centro Regional de Investigación en Biogás para Asia y el Pacífico.

- En China, el 70% del combustible para uso doméstico en las zonas rurales proviene de la descomposición de la paja y los tallos de cultivos.
- En la India, más de medio millón de personas se han servido de plantas de biogás como combustible doméstico, y hoy en día existen plantas demostrativas multifamiliares donde el gas se hace llegar por tuberías a cada vivienda por un precio módico.
- En Estados Unidos, existen incluso algunas plantas de biogás de gran tamaño, mientras que en América Latina se hacen esfuerzos aislados en distintos países.
- En Japón, presentaban el año pasado un sistema que consigue fermentar también el hidrógeno, además del metano, separadamente, lo que amplía los residuos a utilizar para la obtención de biogás, como los desechos de las cocinas, por ejemplo.
- En Europa, existen más de 500 instalaciones productoras de este gas biológico, Holanda y Dinamarca son los países que marcan la pauta industrial, dependerá de las exigencias medioambientales y de los precios del costo de la energía.

Como se puede apreciar en la figura 1. El Reino Unido es el país que más consume Biogás. [3]

Figura1.Producción del biogás en Europa



Fuente. Tomado del plan de energía renovable de España 2005-2010, Eurobser 'ER, España, 2006.

2.1.2 El biogás en el Ecuador. El uso de digestión anaeróbica para extraer metano de desechos animales y otros medios como residuos del procesamiento de alimento, produce muchos beneficios: reduce gases de invernadero, reduce el uso de combustibles fósiles, reduce la cantidad de materia orgánica en los botaderos de basura, reduce el uso de fertilizantes artificiales. Adicionalmente la producción de biogás es una fuente potencial de ingresos económicos para los agricultores.

El sector agrícola genera cantidades significantes de biomasa incluyendo desechos animales, vegetales, del procesamiento de alimentos, y otros materiales orgánicos que pueden ser convertidos en energía.

Existen pocos proyectos que producen biogás en Ecuador. Esto se da por la falta de conocimiento sobre la tecnología y a su vez por los costos de desarrollo y construcción de proyectos de biogás. Pero dados los racionamientos de energía que se dieron entre 2009-2010 y las pérdidas económicas que estos causan, la inversión en sistemas que evitan estos problemas resultan mínimas. Además, la existencia de tecnologías baratas y que se adaptan a las condiciones del lugar reducen los costos y facilitan la operación de los sistemas de biogás.

El problema del déficit de generación eléctrica en el país se mantendrá a corto y mediano plazo si no hay nuevos retrasos en la construcción de nuevas plantas hidroeléctricas. La generación de electricidad por medio de termoeléctricas es costosa y el uso de combustibles fósiles contribuye al calentamiento global. En cambio el aprovechamiento de biomasa, recircula el carbono en la atmosfera produciendo cero emisiones netas. Y usa materiales que hasta ahora han sido desaprovechados. Además produce combustible que puede ser usado en la generación eléctrica o reemplazar el uso de gas licuado de petróleo (Gas doméstico).**[4]**

2.1.3 Características del biogás. El biogás producido en biodigestores, es una mezcla de varios gases, entre los cuales predomina el metano (CH₄).

El metano puro es un gas incoloro e inodoro, que generalmente constituye un 60 a 70 por ciento del total del gas producido en el proceso anaeróbico. Los otros componentes más importantes son el bióxido de carbono (CO₂), aproximadamente 30 por ciento, y concentraciones menores de otros gases, tales como sulfuro de hidrógeno e hidrógeno. El biogás, se quema con una llama azul y posee un alto poder calorífico de, aproximadamente 4650 a 6000 Kcal/m³; cuando el contenido de CH₄ está alrededor de 60 a 70%.**[5]**

La Tabla 1. Presenta los diversos componentes del biogás y sus proporciones estimadas.

Tabla 1. Composición general del biogás

Componente	Rango	Valor típico
Metano CH ₄	54 - 70 %	60 %
Bióxido de Carbono CO ₂	27 - 45 %	30 %
Nitrógeno N ₂	0.5 - 3 %	---
Hidrógeno H ₂	1 - 10 %	---
Monóxido de Carbono CO	0,1 - %	---
Oxígeno O ₂	0,1 - %	---
Sulfuro de Hidrógeno H ₂ S	TRAZAS	---

Fuente. Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. L. John Fry. 1973.

2.1.4 *Uso del biogás.* En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. El gráfico que se encuentra a continuación resume las posibles aplicaciones.

Figura 2. Diferentes aplicaciones del biogás



Fuente. Energía renovable para el desarrollo sustentable en México, Secretaria de Energía, México, 2006, pág. 23.

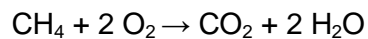
Al estar el biogás constituido principalmente por metano, que es muy buen combustible, tiene lógicamente muchas aplicaciones, puede usarse directamente en procesos tales como: iluminación, calefacción, cocción, refrigeración, etc.[3]

En el presente trabajo se lo utiliza como combustible, para motores de combustión interna, sin embargo para emplearlo en motores, se necesita ciertos requisitos:

- a) Reducir el sulfuro de hidrógeno, contenido en el gas, a menos del 0,25%, para prevenir la corrosión en las superficies metálicas.
- b) Contar con un sistema para extraer el Bióxido de Carbono, a los efectos de incrementar el poder calorífico del gas resultante.[6]

2.1.5 Combustión del biogás. Siendo el biogás en su mayor parte metano, analizaremos la combustión de éste.

La ecuación completa para la combustión del metano es:



Esto quiere decir que si hay 1 metro cúbico de metano más dos metros cúbicos de oxígeno, generarán al quemarse, un metro cúbico de gas carbónico más dos metros cúbicos de vapor de agua.

El aire contiene 21% de oxígeno por volumen, entonces, la mínima cantidad de aire necesaria para la combustión completa del metano es de:

$$\frac{2(100)}{21} = \frac{9,5\text{m}^3}{\text{m}^3} \text{ de metano}$$

Dado que el biogás, normalmente contiene 60% de metano, la mínima cantidad de aire, necesaria para la combustión completa de éste será:

$$9,5(0,6) = 5,7 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ de biogas}}$$

Admitiendo un exceso de aire de 40%, tendremos que:

$$\text{Aire requerido} = 5,7 (1 + 0,4)$$

$$\text{Aproximadamente} = 8 \text{ m}^3 \text{ de aire por m}^3 \text{ de biogás}$$

En la práctica se usa una mezcla de aire/combustible en la proporción de 1:9 a 1:10, en volumen.[7]

2.1.6 Evaluación comparativa de las propiedades de los combustibles líquidos con el biogás, en aplicaciones a motores de combustión interna. Anteriormente hablamos analizado las propiedades del biogás, sus características, así como su combustión. Seguidamente analizaremos la gasolina como combustible sus propiedades y combustión, y luego haremos las comparaciones respectivas.

La Gasolina. - Es un producto obtenido de la destilación fraccionada del petróleo bruto, separando los productos de la destilación comprendidos entre 70° y 120° C, La gasolina, físicamente considerada, es un líquido incoloro, movable y ligero, de olor característico, de densidad a 15°C comprendida entre 0,66 y 0,70 gr/cm³.

El calor de volatización de una gasolina, es el número de calorías que se necesitan para transformar un Kilo de la misma en vapor, a la misma temperatura.

Esta misma cantidad de calor es puesta en libertad cuando el vapor es condensado.

El calor de vaporización depende de la calidad de gasolina y en término medio es de 122 Kcal/kg. La densidad del vapor de gasolina es de unas 3,25 veces la del aire y se determina pesando un volumen determinado de vapor seco de gasolina, relacionándolo al peso del mismo volumen de aire seco, a igual presión y temperatura.

Químicamente considerada, la gasolina está formada, como hemos dicho por una mezcla heterogénea de hidrocarburos, predominando los de la serie acíclica, siendo los principales, el Pentano, Exano y Heptano. Todos los cálculos de reacciones de combustión se fundamentan tomando como carburo tipo de ella, al Heptano.

Partiendo del hidrocarburo tipo, C₇H₁₆, Heptano, cuya composición es de 84% de Carbono y 16% de Hidrógeno, vamos a determinar la cantidad real de aire, que es necesario para quemar un peso dado de gasolina.

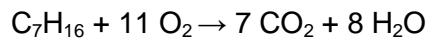
La composición en peso de un hidrocarburo, dado de la forma C_xH_y puede encontrarse de la siguiente manera aproximada:

$$\frac{x}{y} = \frac{\frac{(\%C)}{12}}{\frac{(\%H)}{1}} \quad (1)$$

Donde (%C) y (%H) son los porcentajes de Carbono e Hidrógeno respectivamente. Los valores de y i x dependen así mismo del peso específico del combustible dado.

El Heptano tiene una composición sensiblemente igual a la del Pentano (83,2% de C y 16,71% de H) y al Exano, con 83,68% de C y 16,32% de H, pero es de mayor densidad que éstos (0,718 contra 0,64 y 0,67) respectivamente.[8]

La reacción química que tiene lugar en la combustión del Heptano es la siguiente:



Teniendo en cuenta los pesos atómicos (H = 1) y (C = 12) el Heptano contendrá:

$$7 \times 12 = 84 \text{ gr. de Carbono y}$$

$$16 \times 1 = 16 \text{ gr. de Hidrógeno}$$

Cuyos componentes, para su combustión completa, necesitan, ($\text{O}_2 = 32$)

$$11 \times 32 = 352 \text{ gr. de Oxígeno}$$

Ya que el aire, contiene el 23% de Oxígeno en peso, los 352 gr. estarán contenidos en un peso de aire cien:

$$\frac{352(100)}{23} = 1530 \text{ gr.}$$

Que es la cantidad de aire necesaria para la combustión de:

$$84 + 16 = 100 \text{ gr. de Heptano}$$

O sea, que 1 gramo de gasolina necesita, para su completa combustión, 15,30 gr. de aire (cantidad teórica). En la práctica, la cantidad real de aire necesario, es de 1,3 veces la teórica, en previsión a una perfecta homogeneidad de la mezcla; por tanto un gr. de gasolina necesitará:

$$15,3 \times 1,3 = 20 \text{ gr. de aire}$$

Cuyo peso ocupa un volumen de:

$$\frac{20 \text{ gr}}{1300 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = \frac{20 \text{ gr}}{1300 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} \times \frac{1000 \text{ lt}}{\text{cm}^3} = 15,3 \text{ lt}$$

Para conseguir un rendimiento máximo en la combustión de la gasolina, es preciso que ésta y el aire, estén por tanto en la proporción de 1 a 20, en peso.

Pasaremos ahora a describir las ventajas del biogás como combustible para motores de combustión interna. Sabemos que el rendimiento interno, depende de las propiedades del combustible utilizado.

El biogás se considera un buen combustible para el uso de motores de este tipo. El CO_2 contenido en el biogás evita que en los motores ocurran sacudidas por detonación anticipada. **[8]**

En comparación con los motores que utilizan combustibles líquidos, el biogás presenta ciertas ventajas, tales como:

- Los motores operan sin detonación previa.
- La mezcla de combustible/aire, es más homogénea, debido a que ambos son gaseosos.
- Hay ausencia de depósitos de carbono en las culatas, debido a una combustión más completa.
- Hay menos necesidad de mantenimiento.
- La vida del motor aumenta.
- Hay menos cantidad de monóxido de carbono en los gases de escape.
- Existe una mejor posibilidad de mantener la rotación de marcha lenta, debido a la quema más uniforme de la mezcla biogás/aire, en el cilindro.

Las desventajas en cuanto al uso del biogás serán:

- Toxicidad
- Corrosión de metales por presencia de H_2S y CO_2
- En la combustión se puede formar SO_2 que es altamente toxico y corrosivo
- Disminución del poder calorífico del gas
- Formación de hidratos [3]

2.1.7 Efectos de la corrosión. La corrosión es el deterioro de los metales, iniciada en su superficie. Si el metal está sometido simultáneamente a esfuerzos mecánicos, pueden actuar conjuntamente el ataque químico y la sollicitación mecánica, produciéndose una corrosión especialmente peligrosa. La extraordinaria importancia práctica de la corrosión, no reside sólo en la pérdida de una cantidad considerable de metales. Es frecuente que con pérdidas relativamente pequeñas de metal se produzcan daños cuantiosos.

A pesar de la multiplicidad de los fenómenos de corrosión, la causa es siempre la misma. El metal que se corroe tiende a formar una combinación química. Sabemos que los metales sensibles a la corrosión, como el hierro y el aluminio, se encuentran en la naturaleza en forma de combinaciones y sólo por el esfuerzo del hombre pasan al estado metálico. Cuanto mayor es el trabajo necesario para lograr esta transformación, tanto mayor es la tendencia del metal a volver a su estado originario y natural.

Este proceso de vuelta al origen es lo que llamamos corrosión.[9]

2.1.8 *Estudio del efecto de la corrosión en motores de combustión interna.* La corrosión en los motores de combustión interna, comprende: la que se produce en culatas y camisas de cilindros, y en cilindros y piezas mecánicas durante la parada de los motores.

2.1.9 *Corrosión en cilindros y piezas del motor durante las paradas.* La corrosión originada durante la parada de los motores tiene su causa en la formación de agua condensada, que por depositarse en lugares en su mayor parte, muy difícilmente accesibles, es casi imposible eliminar. En el interior de los cilindros se forma: En el sistema de enfriamiento del motor y en las piezas de éste, por variaciones de temperatura, incluso a causa de los cambios de tiempo.

2.1.10 *Corrosión en culatas y camisas de cilindros.* Las corrosiones más intensas de esta clase se observan en culatas y camisas de cilindros refrigerados con agua del mar en los motores diesel de los barcos; pero también son conocidas tales corrosiones en los motores refrigerados con agua dulce, cuando a ésta se le añade aire, para lograr el denominado efecto de impulsión.

Este aire ocluido, actúa de modo especialmente agresivo sobre las culatas de los cilindros bañados por el agua.

El motor que se utiliza para las pruebas experimentales de laboratorio en el presente proyecto, es refrigerado por aire, no afectándole por lo tanto, lo concerniente a la corrosión debido al agua de refrigeración.[10]

2.1.11 *Determinación de los elementos corrosivos en el biogás.* La impureza principal en el biogás, que se presenta como sustancia corrosiva es el ácido sulfhídrico (H_2S).

Ciertos gases naturales y de petróleo están exentos de esta inconveniente impureza, pero, aparte de ellos, su presencia es universal en los gases combustibles brutos, en cantidades que varían desde unos 230gr/100m³.

El ácido sulfhídrico (Hidrógeno sulfurado, sulfuro de hidrógeno), de peso molecular 34.08, es un gas incoloro que tiene olor muy desagradable. Está muy difundido en la naturaleza, y en la industria se lo encuentra muchas veces como impureza rechazable. De él se produce abundante cantidad, de Azufre elemental, de ácido sulfúrico y otros productos químicos.[11]

2.1.12 Eliminación del azufre contenido en el biogás. Sabemos ya, que el azufre se encuentra en el biogás, en forma de gas sulfhídrico, analizaremos ahora la forma de eliminar este gas.

El proceso del óxido de hierro (Absorción sólidos), para la eliminación del ácido sulfhídrico, como generalmente se lo conoce, consiste en que, el óxido, que de ordinario está formado por virutas de hierro oxidadas, limonita o subproductos del refinado de la bauxita, se mezcla con virutas de madera. También constituyen un excelente soporte las tusas de maíz, aunque se prefiere la madera.

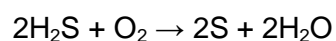
Las virutas de madera ofrecen un elemento mullido que permite el fácil paso del gas a su través y sirven para exponer el óxido a la corriente gaseosa.

Los óxidos varían enormemente en sus propiedades purificadoras, las cuales no dependen del contenido de hierro, sino del estado físico y químico del óxido. El efecto de la humedad juega un importante papel en la reacción.

Los datos descubiertos por Huff y Milbourne, indican que la reacción que ensucia el óxido, se mantiene mejor con una humedad alrededor del 65%.

El óxido ensuciado se revive o activa por la acción del oxígeno del aire en presencia de humedad; el estudio antes mencionado muestra que son mejores las altas humedades.

Justamente lo suficiente, por debajo del punto de saturación, para evitar la precipitación en líquido de dicha humedad. El óxido gastado puede revivirse, simultáneamente con su ensuciamiento, admitiendo una pequeña cantidad de aire con el gas, alrededor de 0.5% más de oxígeno (sobre el volumen total), que el necesario para la reacción.

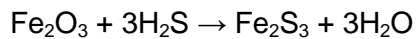


Sin embargo, la reacción es más compleja que ésta. El proceso es relativamente lento y, cuando se realiza simultáneamente, debe prevalecer condiciones de humedad favorables.

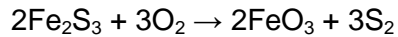
El óxido se revivifica o activa sacándolo del recipiente o bien desviando la corriente de gas del recipiente y haciendo pasar aire a través de ella, pero deben tomarse precauciones para evitar calentamientos excesivos y explosiones.

Un dato que se tiene es de que 0,0325 m³ de óxido consigue remover 3,7 kg. de azufre. Habiendo 0,2% aproximadamente de H₂S en el biogás, este volumen de óxido puede eliminar el H₂S de aproximadamente 2500 m³ de biogás.

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



Regeneración del óxido



2.1.13 Forma de extraer el CO₂ del biogás. La purificación de biogás a través de agua, es lo más conveniente cuando la misma está disponible en grandes cantidades y a bajas presiones, este método se conoce como burbujeo o lavado en agua.

Para eliminar el CO₂ de 0,2m³ de biogás a una temperatura de 20°C, bajo una presión de 1,03 Kg/cm², son necesarios 91,6 litros de agua (admitiendo que existan 35% de CO₂ en el biogás y la densidad del CO₂ sea de 0,00198 gr/cm³). Aumentando la presión se necesita menos cantidad de agua.

La adición del gas al agua trae consigo la formación del ácido carbónico, con los consecuentes efectos de disminución del PH.

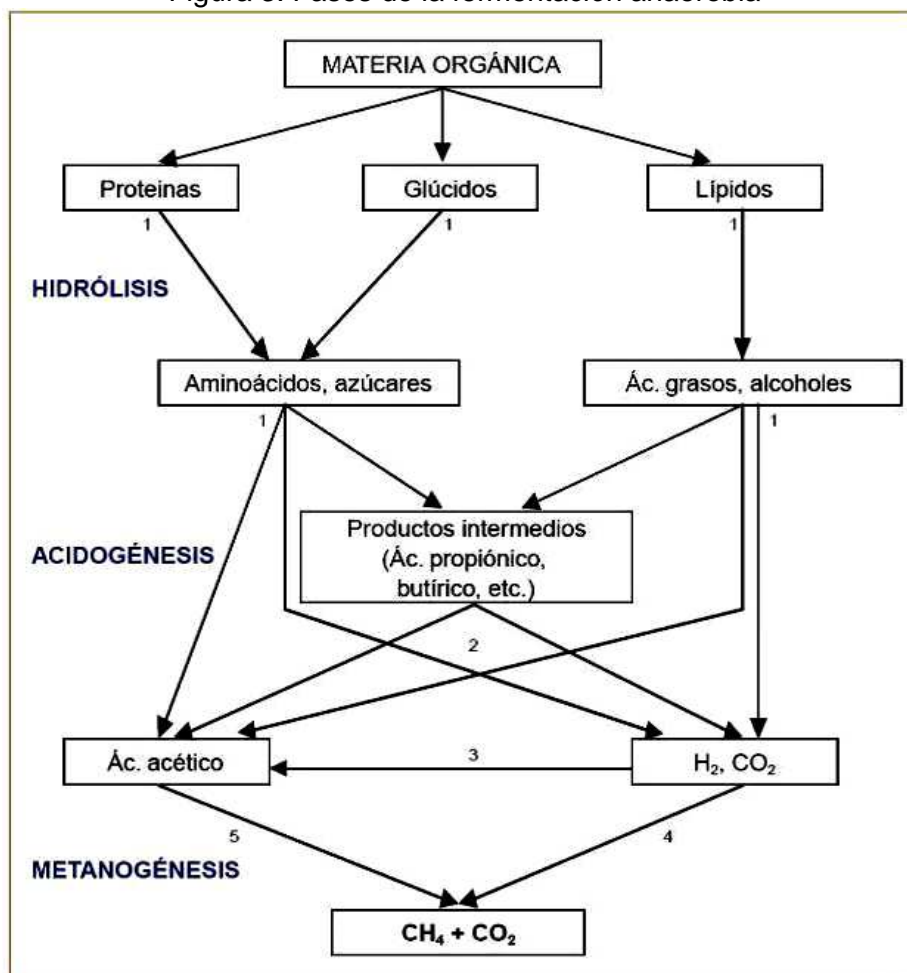
El H₂S puede ser eliminado también, lavándolo por medio de agua, pero las cantidades son apenas perceptibles. Además del agua, pueden ser usados, NaOH (Hidróxido de sodio), KOH. (Hidróxido de potasio) y Ca (OH)₂ (OH)₂ (Hidróxido de calcio), para purificar el biogás, este método se conoce como lavado caustico. Todas estas sustancias no son regenerables a bajo costo, por lo tanto no son recomendables desde el punto de vista económico.

Existe otro método de purificación de biogás, conocido como separación por presión. El principio básico consiste en comprimir el biogás, excediendo la presión parcial crítica de los compuestos no deseados, y manteniendo la temperatura, arriba de la temperatura crítica del metano, pero, por debajo de la que poseen las impurezas, por ejemplo el CO₂ puede licuarse cuando la temperatura está por debajo de los 32°C, luego de una compresión en exceso de 77,7 Kg/cm².

Sin embargo, este procedimiento presenta el inconveniente de que al comprimirlo en estado de impureza, el equipo compresor resultará dañado en poco tiempo.

2.1.14 Purificación de biogás. El biogás está compuesto mayormente de gas metano CH₄, CO₂, en proporciones (55–65) % a (40 – 45) % aproximadamente y variedad de otros gases como el H₂S. El biogás contiene un 0,1 – 1 % aproximadamente de sulfuro de hidrogeno (H₂S).

Figura 3. Fases de la fermentación anaerobia



Fuente: <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/11/tratamiento-anaerobio-de-aguas.html>

La mayoría de los generadores de energía eléctrica que utilizan biogás como combustible, requieren de un contenido máximo de H₂S de 200 - 500 ppmv. Durante el proceso de combustión el H₂S se transforma a ácido sulfhídrico que es altamente corrosible para los metales.

Tabla 2. Gases contaminantes del biogás

Componentes principales	<p>CH₄ gas metano 40 – 70 %</p> <p>CO₂ dióxido de carbono 30 – 50 %</p> <p>N₂ nitrógeno 0 – 20 %</p> <p>O₂ oxígeno 0 – 5 %</p>
Contaminantes principales	<p>H₂S sulfuro de hidrogeno 0 -3000 ppm</p> <p>Mercaptanos 0 -100 ppm</p>

Fuente: Moncayo, "Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás", 2008, pág. 286. [12]

2.2 Estudio del consumo de combustible en un motor de gasolina

2.2.1 *La generación de energía eléctrica.* Desde que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la electricidad a todos los lugares habitados del mundo, por lo que junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transmisión y distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta. Así, los países industrializados o del primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado del tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

La generación, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica o luminosa.

Figura 4. Energía eléctrica



Fuente: www.mendoza.edu.ar/docentes/index.php?option=com_content&view=article&id=655:que-es-la-energia-electrica&catid=142:contenidos&Itemid=1432

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras de energía eléctrica se clasifican en termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleares, eólicas, solares, geotérmicas, biomasa y mareomotrices. **[13]**

2.2.2 *Determinación del tipo de planta eléctrica.* El primer parámetro claramente definido en este apartado es la utilización de una planta eléctrica cuyo motor de combustión use gasolina como combustible, en otras las razones por la cual se decide esto es:

- El motor a gasolina puede ser sustituido 100% por biogás.
- Comercialmente son más fáciles de encontrar.
- Son más económicas.

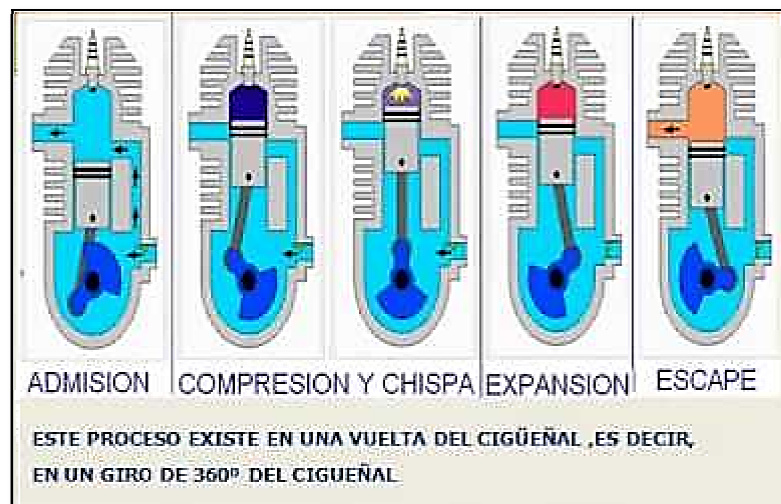
- Se encuentra en mayor diversidad de tamaños.

Motores de combustión interna con gasolina como combustible encontramos de dos tipos:

2.2.3 Motor de dos tiempos. El motor de dos tiempos es aquel que necesita un giro del cigüeñal para completar el ciclo, es decir en los primeros 180° realiza la admisión y compresión y en los segundos 180° realiza la explosión y el escape, una de las desventajas serias de este tipo de motores es que es de cárter seco, que es el depósito de aceite para la lubricación interna del sistema.

En este tipo de motores la lubricación se realiza mezclando el aceite con la gasolina, es decir ingresan mezclados al cárter y cámara de combustión, el mezclar aceite con el biogás es una complicación determinante a la hora de tomar en cuenta este tipo de motor ya que presenta el inconveniente de pre mezcla con el aceite debido a que los dos se encuentran en diferentes estados.

Figura 5. Motor de 2 tiempos



Fuente: <http://informaciona.com/motor-otto-gasolina/videos>

2.2.4 Motor de cuatro tiempos. El motor de cuatro tiempos es el que usa dos vueltas del cigüeñal para cumplir el ciclo, admisión, compresión, explosión y escape, este motor presenta algunas ventajas frente al de dos tiempos, una de las ventajas es que en este motor la lubricación se realiza con el aceite depositado en el cárter, haciendo que no se necesite una pre-mezcla de combustible y lubricante, una de las propiedades del aceite es que es refrigerante, el motor de cuatro tiempo es mejor

refrigerado, así se disminuye el desgaste de piezas móviles por ejemplo el pistón del motor de dos tiempo es expuesto a doble esfuerzo en igual número de revoluciones.

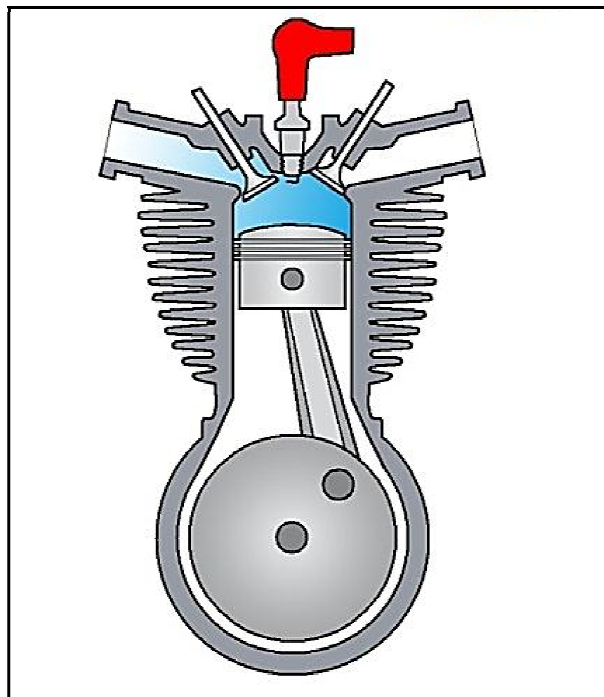
Por otro lado la eficiencia térmica de este motor es mayor ya que los gases de escape frescos no son expulsados por el escape inmediatamente. Finalmente la necesidad eléctrica de motor de 4 tiempos es menor, ya que a igual número de revoluciones la bujía se enciende la mitad de veces que el motor de 2 tiempos. Por todas las ventajas presentadas se decide usar una planta eléctrica con motor de 4 tiempos.[14]

2.2.5 El motor de combustión interna aspectos generales

2.2.6 *Motor.* Es un motor de 4 tiempos con un solo cilindro que funciona como sigue:

- a. Carrera de admisión.- Sirve para introducir una mezcla de aire combustible hacia el interior del cilindro del motor. Se abre la válvula de admisión y penetra la mezcla; la válvula de escape permanece cerrada durante la mayor parte de la carrera.

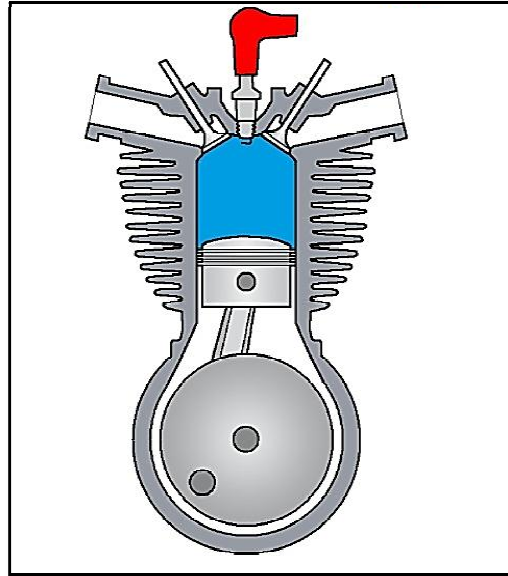
Figura 6. Admisión



Fuente:<http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/304-articulo-motor-4t>

- b. Carrera de compresión.- Sirve para elevar la temperatura de la mezcla. Ambas válvulas están cerradas, la mezcla se comprime al subir el émbolo y la chispa enciende la mezcla cerca del final de la carrera (PMS).

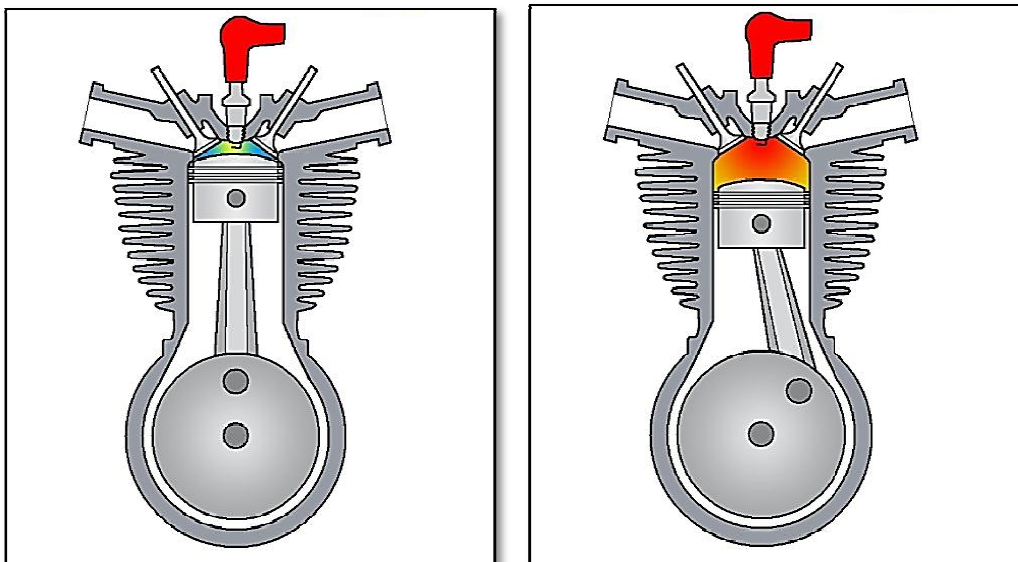
Figura 7. Compresión



Fuente: <http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/304-articulo-motor-4t>

- c. Carrera de trabajo.- Cerca del final de la carrera de compresión, salta la chispa y se enciende la mezcla, liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases, esta gran expansión de los gases de combustión empujan al émbolo hacia abajo, ambas válvulas están cerradas. Cuando el émbolo está por finalizar su carrera, cerca del (PMI) se abre la válvula de escape.

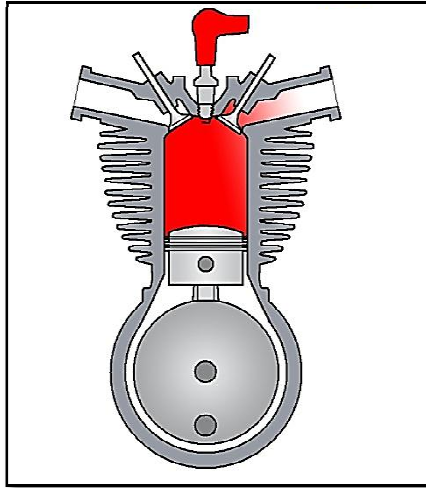
Figura 8. Trabajo



Fuente: <http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/304-articulo-motor-4t>

- d. Carrera de escape.- Estando abierta la válvula de escape, el pistón por inercia moviéndose hacia arriba, permite el barrido de los gases.

Figura 9. Escape



Fuente:<http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/304-articulo-motor-4t>

2.2.7 Sistema de alimentación. La alimentación del combustible se realiza por gravedad, el combustible está contenido en un tanque ubicado en la parte superior de la planta, de este tanque sale una cañería con una llave de paso que conecta al carburador y este a su vez está conectado al cabezote por donde ingresa la mezcla. La admisión de aire consta de un depurados con un filtro de aire el conducto se une al carburador donde se produce la mezcla e ingresa al cilindro.

2.2.8 Sistema de encendido. El encendido es a través de una bujía que es alimentada eléctricamente desde el generador, a través de un cable de alta tensión, al final de la carrera de compresión se carga eléctricamente la bujía y salta la chispa entre los electrodos, causando la combustión de la mezcla aire-gasolina, y ejerciendo trabajo sobre el pistón.

2.2.9 Sistema de arranque. El encendido de la planta eléctrica es manual, posee una soga envuelta en el cigüeñal del motor, esta posee una manija para facilitar la manipulación. Una vez la planta se esté alimentando de combustible, se debe jalar la tiradera con fuerza moderada para que el motor alcance las rpm necesarios para encenderse.

2.2.10 Lubricación. La lubricación se realiza por el movimiento del cigüeñal dentro del cárter que está lleno de aceite para motor 20w50, el aceite es agitado bruscamente y se esparce por toda el área necesaria para lubricar.

2.2.11 Refrigeración. La refrigeración es únicamente por aire, la camisa del pistón tiene intercambiadores de calor tipo paletas, por este motivo se debe la planta debe estar en lugares ventilados. **[15]**

2.2.12 Funcionamiento general del sistema

2.2.13 Precauciones

- a. Nunca opere la máquina en un lugar cerrado, esto podría causar inconsciencia y la muerte en poco tiempo, opere el sistema en áreas ventiladas.
- b. Siempre apague el motor para recargar el combustible, por ningún motivo llene el tanque de combustible con el motor encendido.
- c. Si por algún motivo inhala el vapor de la gasolina o salpica combustible a los ojos vaya inmediatamente al doctor.
- d. Si salpica combustible a su ropa, lave inmediatamente o reemplace la ropa.
- e. Ubique el generador en un lugar fuera del alcance de los niños y animales.
- f. No ponga materiales inflamables cerca de la planta cuando esta se encuentra funcionando.
- g. Nunca opere el sistema cuando está lloviendo y cayendo rayos. **[16]**

2.3 Evaluación de las características técnicas más representativas en la producción de electricidad

2.3.1 Características técnicas del motor

Tabla 3. Características técnicas del motor

Largo x ancho x alto	715 x 415 x 595 mm (28,2 x 16,3 x 23,4in)
Peso seco	84,0 kg (185 lbs.)
Modelo	Honda G400
Tipo de motor	4-tiempos, válvulas laterales, 1 cilindro
Desplazamiento	406 cc (24,7 in3) [86 x 70 mm (304 x 208 in)]
Relación de compresión	6,5 : 1
Velocidad del motor a (60Hz)	3200 rpm
Enfriamiento	Enfriamiento de aire forzado
Ignición	Volante magnético
Capacidad de aceite	1,2 lts (2,54 US pt)
Capacidad del tanque de combustible	14 lts (3,7 US gal)
Bujía	BR-4HS (NGK), W14FR-U (ND)

Fuente:<http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

Tabla 4. Características del generador

AC salida	Tensión nominal	115V/230V
	Potencia nominal	2,8 KVA (2800 watts), 24,3 A/ 12,2 A
	Salida máxima	3,5kVA (3500watts), 30 A/ 15,2 A
	Ciclos	60Hz
DC salida		Solo para la carga de baterías de 12 V del automóvil. Potencia máxima de carga ≈ 8,3 A

Fuente:<http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>[16]

2.3.2 Formulación básica

Definición, clasificación y determinación de parámetros

Se presenta una breve revisión a cerca de las características principales de los motores de combustión interna, se dan ciertas definiciones que serán de utilidad durante todo el desarrollo del proyecto, para finalmente anotar los principales parámetros de desempeño, aplicables a los motores alternativos.

2.3.3 Torque. Es la fuerza o esfuerzo de torsión, y es medido en términos de fuerza y longitud del brazo de palanca sobre el cual actúa.

$$Tq = F.L \text{ (N-m)} \quad (2)$$

De donde:

Tq = Par motor

F = Fuerza (N)

L = Longitud del brazo (m)

2.3.4 Potencia al freno. Es la potencia que se obtiene en el eje del motor, también es denominada potencia en la flecha. Lo que indica la capacidad de cumplir con una determinada cantidad de trabajo producido en la unidad de tiempo. [17]

$$Pf = \frac{(F)(L)(N)}{716,2} \text{ (CV)} \quad (3)$$

De donde:

Pf = Potencia al freno

F = Carga al freno

N = Revoluciones del eje (rpm)

L = Longitud del brazo

2.3.5 Consumo de aire. Este parámetro de desempeño de un motor de combustión interna, está relacionado con la masa de aire que ingresa como parte de la carga fresca, y que es requerida para una eficiente combustión del combustible.[14]

$$m_{aire} = \eta_v mt \quad (4)$$

Dónde:

m_{aire} = Flujo másico de aire.

η_v = Eficiencia volumétrica (0,75) asumo.

mt = Masa teórica de aire aspirado.

$$mt = \frac{P_1 V_p}{RT_1} \quad (5)$$

Dónde:

mt = Masa teórica de aire aspirado.

P_1 = Presión atmosférica.

V_p = Cilindrada parcial.

R = Constante de los gases.

T_1 = Temperatura ambiente.

En motores de encendido por chispa la cantidad de mezcla aumenta conforme se abre la mariposa del carburador, al acelerar, mientras que en motores de encendido por compresión se mantiene aproximadamente constante la cantidad de aire admitida.

2.3.6 Consumo de combustible. Este parámetro, determinado experimentalmente indica la rapidez de consumo de un motor.

$$C_t = 3,6 \frac{(V_f)(\rho_b)}{t} \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (6)$$

De donde:

C_t = Consumo de combustible.

V_f = Volumen de prueba.

ρ_b = Densidad del combustible.

t = Tiempo

El consumo se obtiene midiendo el tiempo que tarda el motor en consumir un volumen de prueba, por lo general contenido en una probeta, es importante en la medición evitar errores de paralelaje.

2.3.7 Consumo específico de combustible. Es la masa de combustible necesaria para generar una unidad de energía por unidad de tiempo.

$$C_s = 3,6 \frac{V_f \rho_b}{t N_e} \left(\frac{kg}{CV-h} \right) \quad (7)$$

De donde:

C_s = Consumo específico de combustible (kg. CVh)

V_f = Volumen de prueba.

ρ_b = Densidad del combustible.

N_e = Potencia al freno (CV).

El consumo específico de combustible es uno de los parámetros más importantes en el estudio de un motor, nos indicará, lo económico que es el motor bajo consideración.

2.3.8 Rendimiento térmico. Es la relación entre el trabajo medido del área del ciclo ideal y el equivalente en trabajo del calor introducido en este ciclo.

El rendimiento térmico del ciclo se calcula con:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varphi^{k-1}} \quad (8)$$

De donde:

η_t = Rendimiento térmico

φ = Relación de compresión

k = Relación de calores específicos

2.3.9 Relación aire/combustible. Está dada como la relación entre la cantidad de aire utilizada en la combustión y la cantidad de combustible quemado.

Cuando en los productos de la combustión no existe la presencia de CO ni tampoco de O₂, la combustión es completa y se dice que la relación aire / combustible es la teórica o estequiométrica.

En la práctica se requiere de un exceso de aire (O₂ en los productos) para la combustión completa del combustible. [17]

$$\alpha = \frac{m_a}{m_c} \quad (9)$$

De donde:

α = Relación aire combustible

m_a = Consumo aire (kg.)

m_c = Consumo de combustible (kg.)

El carburador permite variar y controlar la relación aire/combustible. En el motor de encendido por chispa se debe mantener una relación definida entre las cantidades de aire y combustible para asegurar que la llama se propague a través de la mezcla. En el motor de encendido por compresión, no se requiere esa relación fija de aire/combustible, por que éste se inyecta en el seno de un aire extremadamente caliente, encendiéndose por cualquier punto en el cual se forme la mezcla combustible/aire apropiada.

CAPÍTULO III

3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE BIOGÁS Y MONTAJE

3.1 Adaptación del carburador del motor de combustión interna de la planta para consumir biogás

Uno de los objetivos de este trabajo, consiste en utilizar un motor de gasolina, en las mismas condiciones en que se lo adquiere en el mercado. Razón por la cual el sistema de inducción de gas, se lo hace directamente por la toma de aire del carburador, esto significa que por medio de llaves de paso, colocadas estratégicamente, se puede realizar el cambio de gasolina a biogás, o viceversa.

La cantidad de gas necesaria, es determinada por la dilución con el aire, y que es compatible con la tasa de presión del motor. Ya que tiene que funcionar el carburador con gasolina y biogás, se ha partido de uno que emplea gasolina, este carburador es el S.U., del cual tomaremos sus principios de funcionamiento para adaptarlo a biogás.

3.1.1 *Diámetro de entrada de aire del cuerpo del carburador*

$$D = 0,82 \sqrt{\left(\frac{CN}{1000}\right)} \quad (10)$$

Dónde:

D= Diámetro del carburador en mm

N= Número de revoluciones máximas del motor rpm

C= Cilindrada unitaria en cc.[19]

$$D = 0,82 \sqrt{\left(\frac{406 \times 3600}{1000}\right)}$$

$$D=31,34 \text{ mm}$$

3.1.2 *Cantidad de aire.* Se calcula aplicando la ecuación (4)

$$m_{aire} = n_v m t$$

$$m_t = \frac{P_1 V_p}{RT_1}$$

$$m_t = \frac{10493 \frac{kgf}{m^2} (0,000406 m^3)}{29,264 \frac{kgm}{kg^\circ k} (285^\circ k)}$$

$$m_t = 0,00051 kg$$

$$m_t = 0,51 g$$

Masa de aire

$$m_a = \eta_v m_t$$

$$m_a = 0,75(0,51 g)$$

$$m_a = 0,3825 g$$

3.1.3 Cantidad de combustible

$$m_c = \frac{z \dot{m}_c 60}{i 2n} \quad (11)$$

Dónde:

m_c = Masa de combustible (kg).

z = Números de tiempos operativos del motor.

i = Número de cilindros.

n = Revoluciones del motor.

\dot{m}_c = Flujo de combustible (kg/s).

$$m_c = \frac{4 \frac{tiempos}{ciclo} 4,77(10^{-5}) \frac{kg}{s} 60 \frac{s}{min}}{1 cilindro \left(2 \frac{tiempos}{rev} \right) 2800 \frac{rev}{min}}$$

$$m_c = 2,04(10^{-5}) \frac{kg}{cil \times ciclo}$$

$$m_c = 0,0204 g \quad [14]$$

3.2 Circuito de alimentación de gas metano hacia la planta eléctrica

Hay que tomar en cuenta algunos elementos dentro de este circuito que son de importancia para suministrar el biogás a la planta como combustible. (Ver Anexo A)

3.2.1 *Elementos dentro del circuito*

- a. Tubería de conducción.
- b. Llave de paso.
- c. Trampa de agua.
- d. Filtro de ácido sulfhídrico.
- e. Medidor de presión.
- f. Reducción de diámetro de suministro.
- g. Medidor de caudal de biogás.

3.2.2 *Funcionamiento general del sistema.* Se abre la llave de paso de 1" que es la tubería de salida, el biogás empieza a circular por esta tubería hasta llegar al corta llamas donde entra por la tubería sumergida en agua 3 cm, el gas logra vencer la resistencia del agua y vuelve a salir a la superficie y sale por la segunda tubería de captación del corta llamas, al continuar por la tubería el biogás se encuentra con una T donde el agua que se condensa cae en la trampa de agua que es un tubo perpendicular que tiene una llave de paso para el purgado del sistema, seguido el gas debe pasar por el filtro de ácido sulfhídrico para ser purificado, las partículas de este gas son atrapadas en el medio filtrante oxidando la limalla de hierro, finalmente el biogás pasa por el medidor de caudal de biogás y por los reductores de diámetro hasta ingresar por la tubería que tiene el diámetro diseñado para el suministro de gas a la planta donde es combustionado.

3.3 **Cantidad de energía eléctrica vs cantidad de biogás**

- a. Grado de eficiencia del motor

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.

- b. Grado de eficiencia del generador

En el generador se transforma la energía mecánica que genera el motor en energía eléctrica.

El grado de eficiencia eléctrico de generadores está en el orden de 90 a 97% dependiendo de la potencia de la unidad. El resto de la energía se transforma en calor.[17]

$$\eta_e = \frac{Ne}{\dot{Q}t} \quad (12)$$

Dónde:

η_e = Eficiencia del motor.

Ne = Potencia del eje (CV).

$\dot{Q}t$ = Flujo de energía del combustible (kcal).

Despejando:

$$Ne = \eta_e \dot{Q}t$$

$$\eta_g = \frac{Ees}{Ne} \quad (13)$$

Dónde:

η_g = Eficiencia del generador.

Ees = Energía eléctrica de salida (kWh).

Ne = Potencia en el eje (CV).

Despejando:

$$Ne = \frac{Ees}{\eta_g} \quad (14)$$

Igualando (12) y (13) despejando obtenemos:

$$\dot{Q}t = \frac{Ees}{\eta_e \eta_g} \quad (15)$$

Para saber la energía eléctrica de salida (Ees) se determina así:

Se posee una planta eléctrica de 3,5 kW, la cual se desea que trabaje 4 horas al día

$$Ees = (Pp) (ht) \quad (16)$$

Dónde:

Pp = Potencia de la planta.

ht = Horas del trabajo al día.

$$E_{es} = 3,5 \text{ kW} \times 4 \text{ horas}$$

$$E_{es} = 14 \text{ kWh}$$

Además se conoce la eficiencia del motor y del generador:

$$\eta_e = 30\%$$

$$\eta_g = 70\%$$

Aplicando datos en la ecuación (15) se tiene que el flujo de energía calorífica del combustible (\dot{Q}_t):

$$\dot{Q}_t = \frac{14 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}}{(0,30)(0,70)}$$

$$\dot{Q}_t = 66,66 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

La equivalencia de 1 kWh es:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ Kcal}$$

Por lo tanto:

$$\dot{Q}_t = \left(66,66 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}\right) \left(860 \frac{\text{kcal}}{\text{kWh}}\right)$$

$$\dot{Q}_t = 57327,6 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

El poder calorífico del biogás es 4500 kcal/m³ (Poder calorífico inferior).

Finalmente:[18]

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{Q}_t}{P_{ci}} \tag{17}$$

Dónde:

\dot{V}_g = Flujo de gas (m³/día).

\dot{Q}_t = Flujo de energía calorífica del combustible (kcal/día).

P_{ci} = Poder calorífico inferior del biogás (kcal/m³).

$$\dot{V}_g = \frac{57327,6 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}}{4500 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}$$

$$\dot{V}_g = 12,74 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

CAPITULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOGENERADOR UTILIZANDO EL BIOGÁS

Las principales pruebas experimentales aquí consideradas son aquellas que sirven para determinar los valores: del par motor, de la potencia desarrollada, del consumo específico de combustible, etc. El número y modalidad de las pruebas, así como los instrumentos empleados para efectuarlas, varían, al variar el tipo de motor y las condiciones de su empleo.

Seguidamente se describe el procedimiento a seguir para realizar esta experiencia en el banco de pruebas.

Luego se da un ejemplo de cómo se encontraron los valores, de los parámetros buscados, en función de datos referenciales. Todo esto utilizando gasolina como combustible, ya que necesitamos encontrar las curvas características del motor, y que posteriormente servirán como referencia, cuando utilicemos biogás.

Procedimiento:

- Se arranca el motor y se deja que la máquina se caliente durante unos minutos.
- Utilizando el acelerador, se incrementa la velocidad a 3500 rpm, luego se aumenta la carga y se lleva al motor a 3600 rpm nuevamente; se repite este proceso hasta que el acelerador esté completamente abierto y la máquina funcione a 3600 rpm.
- Cuando se estabiliza el comportamiento del motor, se toman las lecturas; se disminuye gradualmente la velocidad aplicando carga, se espera que se den condiciones estables y se toma nuevamente la lectura de datos, este procedimiento se repite hasta llegar a una velocidad límite que es 1800 rpm aproximadamente.
- En este caso el generador de corriente alterna será utilizado para que absorba la energía del motor de combustión interna, mediante la conexión de un cuerpo de resistencias eléctricas (Bombillos) conectadas en paralelo en su circuito, lo que nos permitirá variar la carga de acuerdo a nuestras necesidades.
- Mediante un brazo acoplado del generador hacia una balanza permitirá medir la fuerza torsional generada por el motor de gasolina, cuando se le aplica una carga determinada, mediante las resistencias eléctricas.
- Como accesorios se utiliza el multímetro, tacómetro manual y medidor de flujo de gas para obtener datos de las pruebas en el motor.

Cálculos y Resultados.- Con los datos obtenidos se calcula los siguientes parámetros:

Torque, potencia, consumo específico de combustible, eficiencia térmica y relación aire combustible, luego se los grafica vs. velocidad en rpm.

Realizaremos un cálculo, de tal forma que sirva de guía para los resultados posteriores.

Los datos tomados en el banco de pruebas son: (Ver Anexo E)

DATOS:

Velocidad	3200 rpm
Carga al freno	23,42 N
Tiempo	60,13 s
Voltaje	115 V
Amperaje	9,6 A

4.1 Resultados con gasolina

4.1.1 *Torque.* Viene dado por la relación.

$$\text{Torque} = FL$$

Dónde:

$$L = 0,265 \text{ m}$$

Entonces:

$$Tq = (23,42) (0,265)$$

$$Tq = 6,21 \text{ N-m}$$

4.1.2 *Potencia al freno.* La potencia viene dada por la relación.

$$Pf = \frac{(F)(L)(N)}{716,2} \text{ CV}$$

Entonces tenemos que:

$$Pf = \frac{(2,39)(0,265)(3200)}{716,2} = 2,83 \text{ CV}$$

4.1.3 *Consumo de combustible.* El consumo de combustible está dado por la relación.

$$C_t = 3,6 \frac{(V_f)(\rho_b)}{t} \left[\frac{kg}{h} \right]$$

$$C_t = \frac{(35,08)(0,735)(3,6)}{60,13} = 1,54 \frac{kg}{h}$$

4.1.4 *Consumo específico de combustible.* Está dado por

$$C_s = 3,6 \frac{V_f \rho_b}{t N_e} \left(\frac{kg}{CV - h} \right)$$

$$C_s = \frac{1,54}{2,83}$$

$$C_s = 0,55 \frac{kg}{CV - h}$$

4.1.5 *Eficiencia térmica.* Esta expresada por

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varphi^{k-1}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{6,5^{1,4-1}}$$

$$\eta_t = 0,527$$

4.1.6 *Potencia eléctrica disipada*

$$kW = \frac{VA}{1000}$$

$$kW = \frac{(115)(9,6)}{1000}$$

$$kW = 1,104$$

Los datos y resultados, se adjuntan en los siguientes cuadros y gráficos.

Tabla 5. Datos de la prueba con gasolina

RPM	Freno(kg)	Freno(N)	Tiempo(s)	Voltaje	Amperaje	Vprueba CC
-----	-----------	----------	-----------	---------	----------	------------

3500	2,09	20,48	60,03	115	6,2	29,01
3200	2,39	23,42	60,13	115	9,6	35,08
2840	2,49	24,40	60,20	115	14,5	32,11
1995	2,95	28,91	60,56	93	14,8	24,83
1820	3,15	30,87	60,11	85	16,4	25,05
1520	3,15	30,87	60,15	69	16,1	26,07

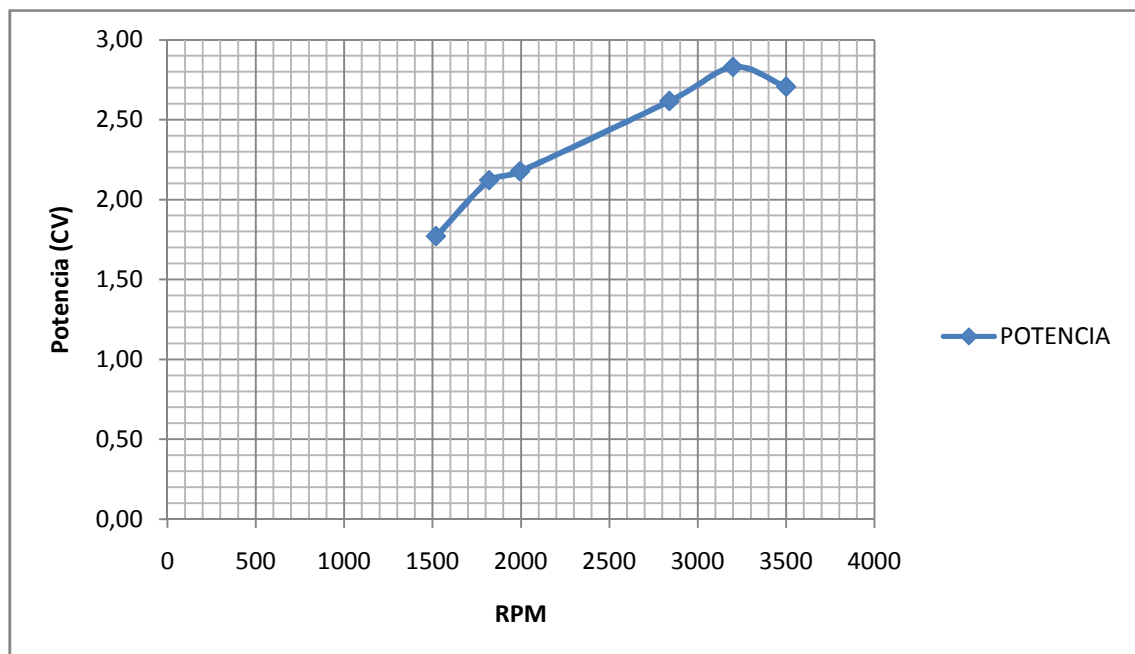
Fuente: Autor

Tabla 6. Resultados de la prueba con gasolina

Torque N-m	Potencia (CV)	CEC (kg/cv-h)	*POT(kW)
5,43	2,71	0,47	0,71
6,21	2,83	0,55	1,10
6,47	2,62	0,54	1,67
7,66	2,18	0,50	1,38
8,18	2,12	0,52	1,39
8,18	1,77	0,65	1,11

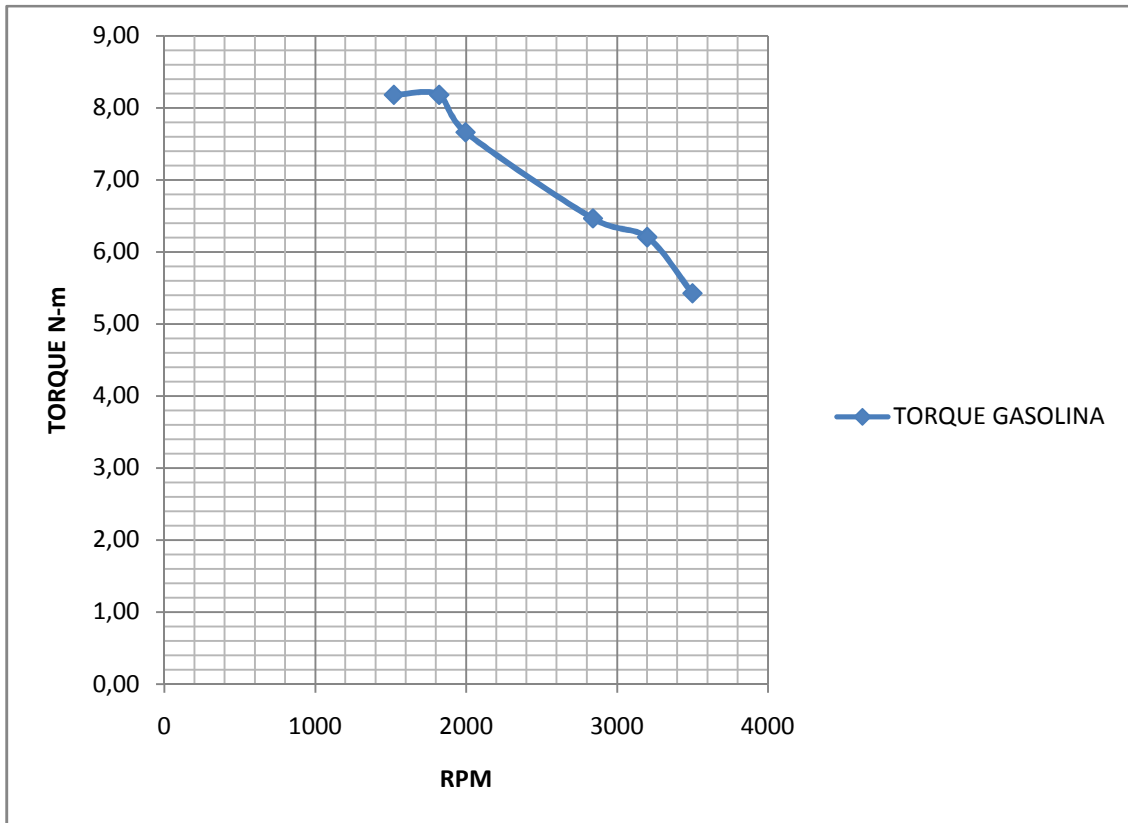
Fuente: Autor

Figura 10. Potencia gasolina



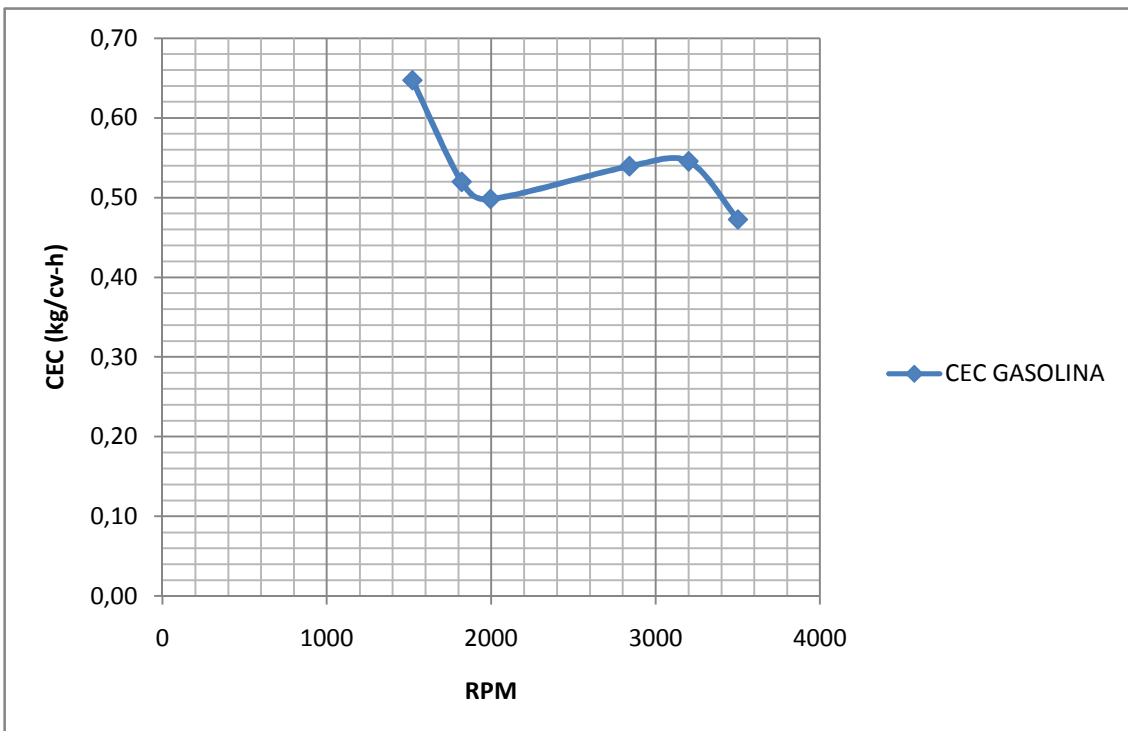
Fuente: Autor

Figura 11. Torque gasolina



Fuente: Autor

Figura 12. Consumo específico de combustible



Fuente: Autor

4.2 Cálculo de los parámetros del motor utilizando biogás

Procedimiento.- El biogás se lo tomó de un biodigestor, donde está a una presión atmosférica. Por medio de conexiones, donde se utilizan válvulas y mangueras, se lo pasó a una campana con sello de agua, que al mismo tiempo es la presión de entrada al carburador del motor, la entrada definitiva se realiza por un orificio de 7,5 mm, con la dirección de salida apuntando hacia la entrada de la cámara de combustión. Que sirve para realizar el cálculo de consumo de biogás. (VER ANEXO A.)

A continuación se plantea la ecuación para la masa de combustible.

Tendremos que:

Caudal en volumen

$$\dot{V} = \bar{V}A \quad (18)$$

\bar{V} = Velocidad.

A = Área.

\dot{V} = Caudal en volumen $\left(\frac{m^3}{s}\right)$.

Flujo de combustible

$$\dot{m}_c = (\bar{V})(A)\delta \quad (19)$$

δ = Densidad del combustible

La masa sería un parámetro nuevo, en base al cual realizaremos los cálculos posteriores para encontrar el consumo específico de combustible (biogás). La relación espasa hallar los otros parámetros, son las mismas que se emplearon para realizar los cálculos con gasolina.

A continuación se indica el procedimiento empleado para la obtención de los resultados.

Consumo específico de combustible.- Indica la cantidadde combustible queel motor consume para la potencia que produce.

Para el caso del biogás el CEC viene dado por la relación.

$$CEC = 1,152(10^6) \left[\frac{1}{(N)(rpm)(t)} \right] \quad (20)$$

Dónde:

N = Carga al freno en newton.

rpm= Velocidad desarrollada por el motor

t= Tiempo de consumo en segundos.

Esta relación se la obtiene a partir de la definición de CEC, que está dada por.

$$CEC = \frac{\text{Masa de biogás}}{(\text{Potencia desarrollada en CV})(\text{tiempo en hr})}$$

Aquí:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(7,5\text{mm})^2}{4} = 44,17\text{mm}^2$$

$$A = 4,417(10^{-5}) \text{ m}^2$$

Dónde:

D= 7,5 mm diámetro de entrada al carburador

Caudal en volumen es:

$$\dot{V} = \bar{V}A$$

$$\dot{V} = 1,16 \frac{\text{m}}{\text{s}} [4,417(10^{-5})\text{m}^2]$$

$$\dot{V} = 5,12(10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Flujo de combustible:

$$\dot{m}_c = (\delta)\bar{V}(A)$$

$$\dot{m}_c = 0,93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(1,16 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) [4,417(10^{-5})\text{m}^2]$$

$$\dot{m}_c = 4,77(10^{-5}) \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

A continuación realizaremos los cálculos referenciales, que nos servirán como ejemplo para resultados posteriores: (Ver Anexo E)

DATOS

Velocidad	2800 rpm
Carga al freno	12 N
Tiempo	39,53 s
Voltaje	115 V
Amperaje	6,1 A
Caudal en masa	4,77(10 ⁻⁵)

RESULTADOS

4.2.1 *Torque.* Está dado por:

$$\text{Torque} = FL$$

Siendo $L = 0,265$ m

$$Tq = 12 (0,265)$$

$$Tq = 3,18 \text{ N-m}$$

4.2.2 *Potencia al freno.* La relación que da la potencia es:

$$Pf = \frac{(F)L(N)}{716,2} \text{ CV}$$

$$Pf = \frac{1,22(0,265)2800}{716,2} = 1,27 \text{ CV}$$

4.2.3 *Consumo de combustible.* El consumo de combustible viene dado por la relación.

$$CC = (\text{Caudal en masa})(\text{Tiempo})$$

$$CC = 4,77(10^{-5})39,53 = 1,88(10^{-3})kg$$

4.2.4 *Consumo específico de combustible*

$$CEC = 1,152(10^6) \left[\frac{1}{N(\text{rpm})t} \right]$$

$$CEC = 1,1152(10^6) \left[\frac{1}{12(2800)39,53} \right]$$

$$CEC = 0,84 \frac{kg}{cv-h}$$

4.2.5 *Eficiencia térmica*

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\phi^{k-1}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{6,5^{1,4-1}}$$

$$\eta_t = 0,527$$

4.2.6 Potencia eléctrica disipada

$$kW = \frac{VA}{1000}$$

$$kW = \frac{115(6,1)}{1000}$$

$$kW = 0,7$$

Tabla 7. Datos de la prueba con biogás

RPM	Freno (kg)	Freno(N)	Tiempo	Voltaje	Amperaje	Caudal m ³
2800	1,22	12	39,53	115	6,1	4,77E-05
2540	1,33	13	40,33	108	6,8	4,44E-05
2020	1,24	12,2	41,63	104	8,5	4,44E-05
1920	1,33	13	42,03	95	11,6	4,44E-05
1780	1,48	14,5	43,43	85	12,9	4,11E-05
1600	1,53	15	45,12	74	13,8	4,11E-05

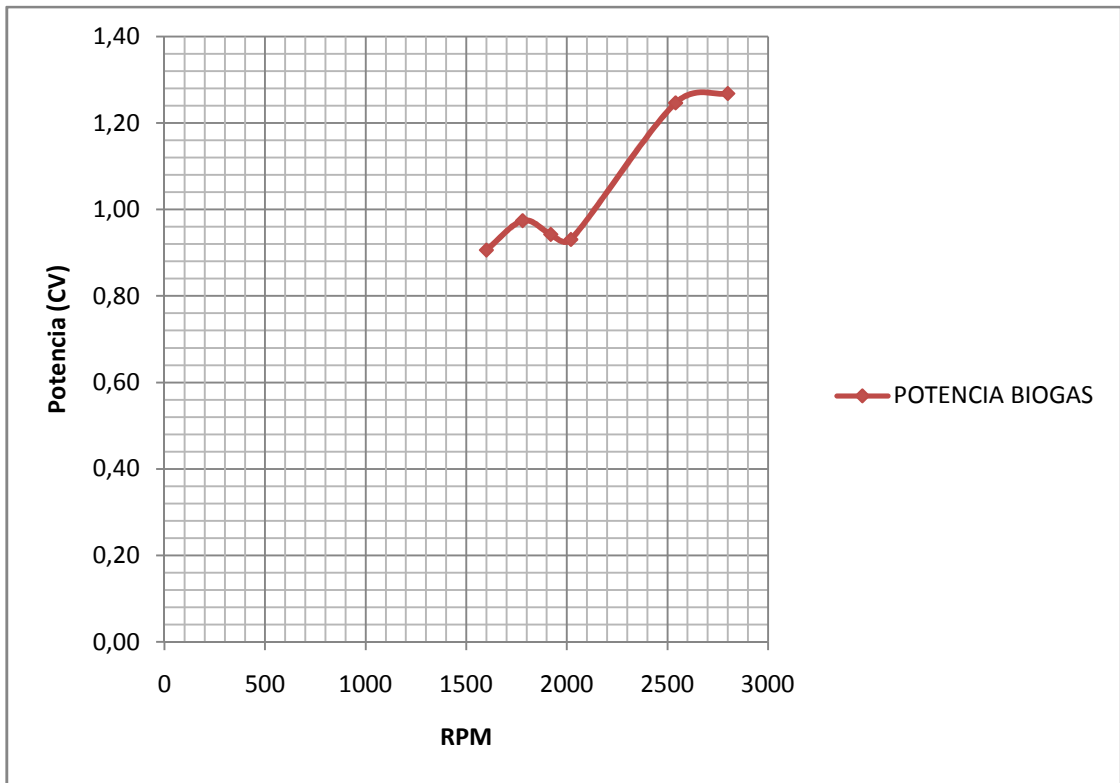
Fuente: Autor

Tabla 8. Resultados de la prueba con biogás

Torque N-m	Potencia (CV)	CEC (kg/cv-h)	*POT (kW)
3,18	1,27	0,84	0,70
3,45	1,25	0,84	0,73
3,23	0,93	1,09	0,88
3,45	0,94	1,06	1,10
3,84	0,97	0,99	1,10
3,98	0,91	1,03	1,02

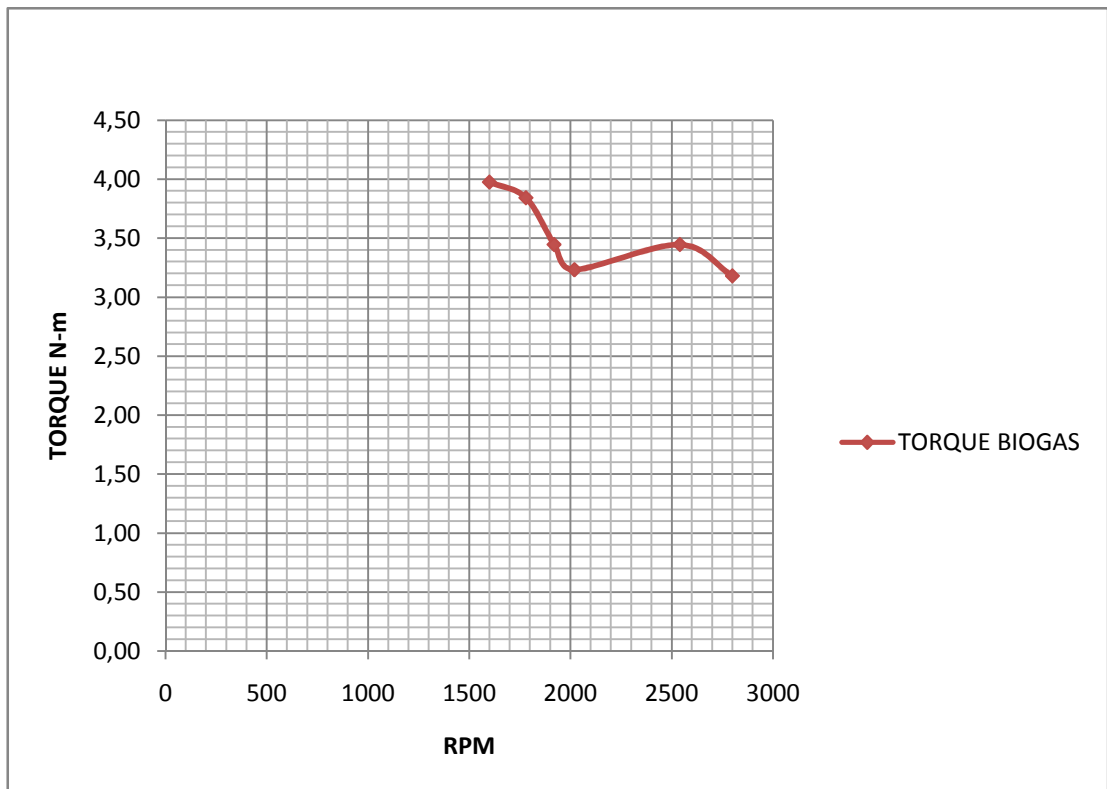
Fuente: Autor

Figura 13. Potencia biogás



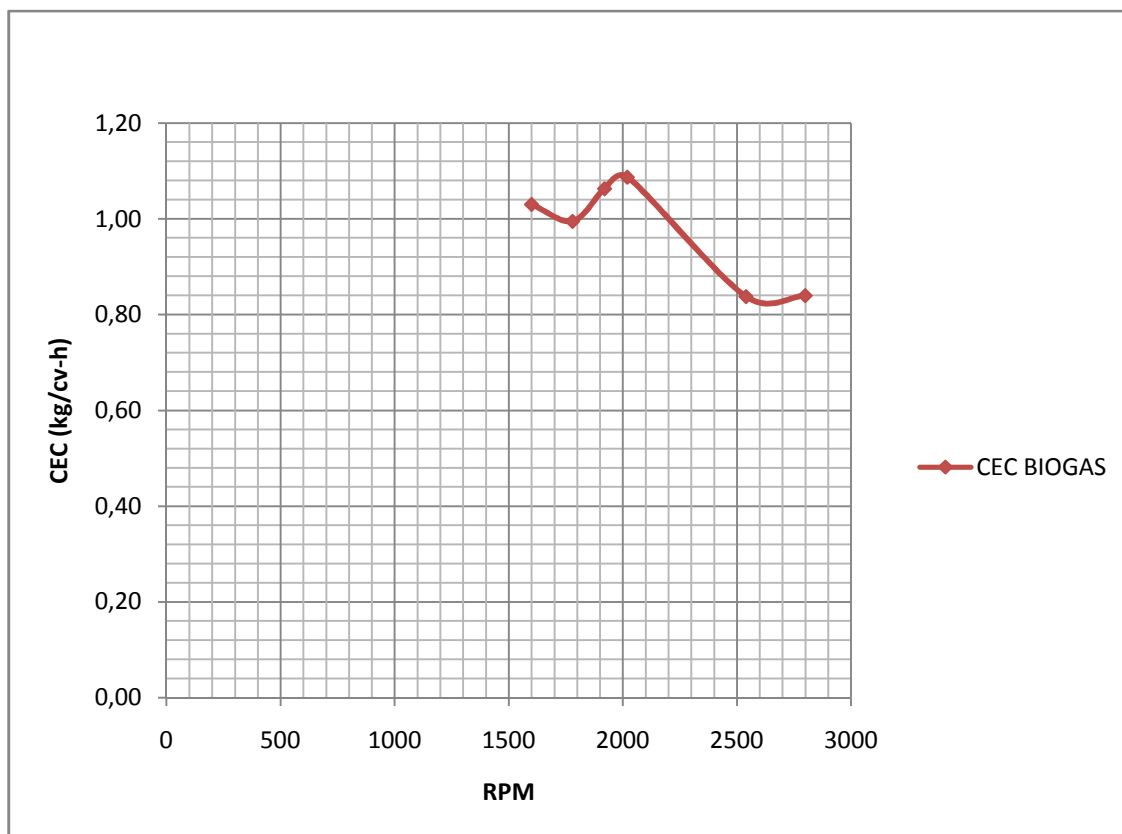
Fuente: Autor

Figura 14. Torque biogás



Fuente: Autor

Figura 15. Consumo específico de combustible biogás



Fuente: Autor

Tabla 9. Valores de resultados experimentales correspondientes al mínimo consumo específico de combustible

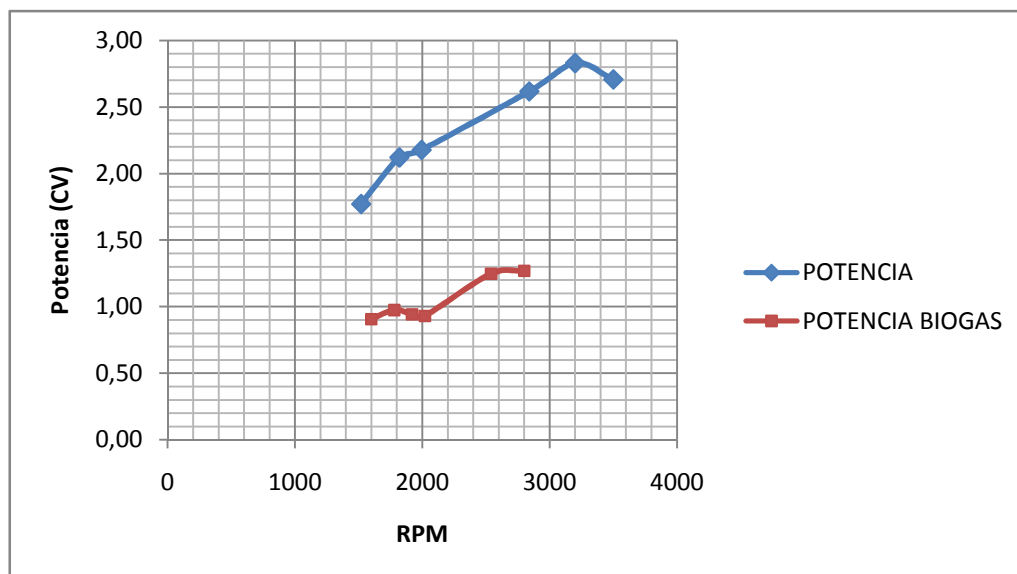
	CEC (kg/cv-h)	Potencia cv	Torque	η_t %
GASOLINA	0,50	2,18	7,66	17,32
BIOGÁS	0,84	1,25	3,45	14.84

Fuente: Autor

4.3 Análisis y discusión de resultados

Seguidamente analizaremos las curvas obtenidas experimentalmente, para los diferentes combustibles utilizados.

Figura 16. Potencia gasolina vs biogás

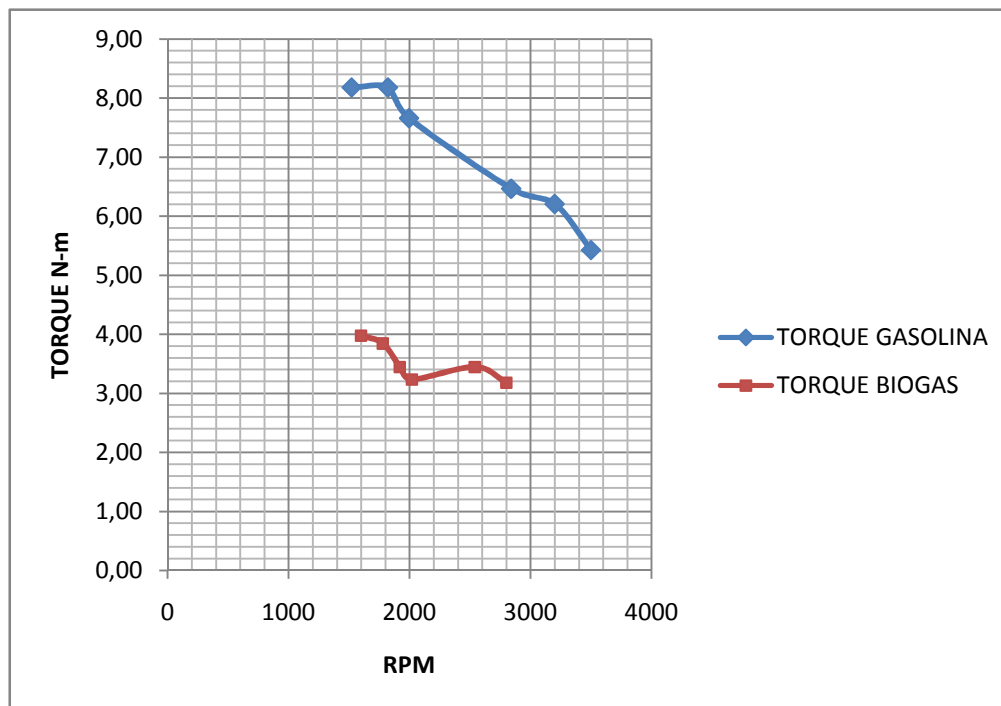


Fuente: Autor

Curvas a velocidad variable.- Del Gráfico (10) (para gasolina), vemos que la producción de potencia aumenta hasta un máximo, ésta corresponde a 3200 rpm después de la cual disminuye.

Al comparar los gráficos (10) y (13), se observa que la mayor potencia desarrollada por el motor es precisamente cuando se utiliza gasolina.

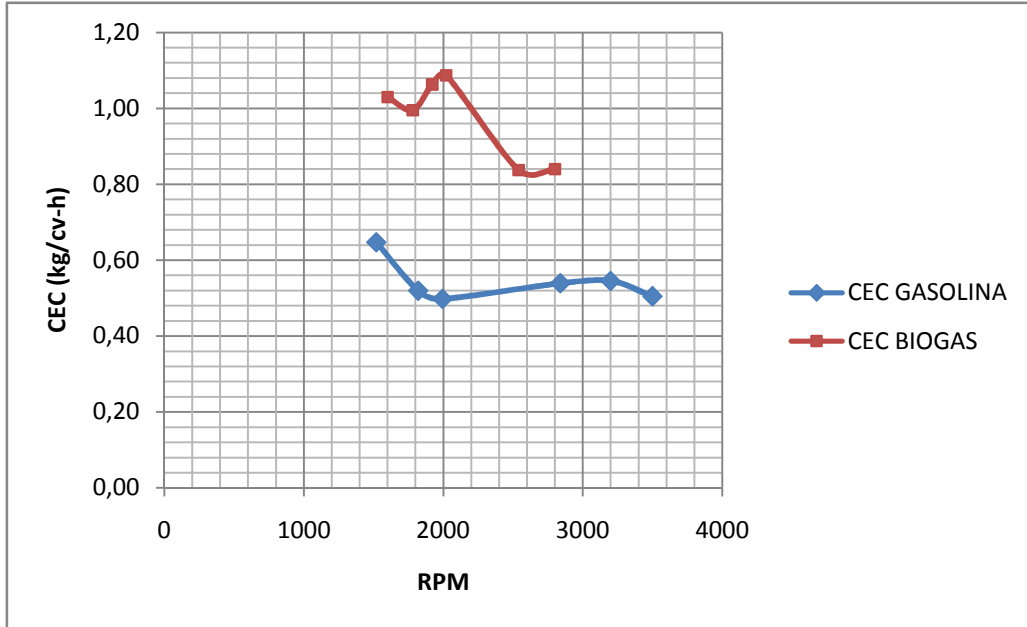
Figura 17. Torque gasolina vs biogás



Fuente: Autor

El CEC es mínimo para 2540 rpm y de la tabla de resultados comprobamos que el rendimiento térmico es máximo donde el CEC es mínimo. El torque disminuye a medida que la velocidad aumenta, el mínimo está en 3500 rpm para gasolina.

Figura 18. Consumo específico de combustible gasolina vs biogás



Fuente: Autor

Comparando los gráficos (12) y (15), observamos que la gasolina tiene un mejor CEC en peso (kg/cv-h) en comparación con el biogás.

En general las curvas para velocidad variable para los dos combustibles, tienen una configuración aproximada en cuanto a las tendencias que presentan.

CAPÍTULO V

5. EVALUACIÓN DE COSTOS Y ANÁLISIS ECONÓMICO.

El objetivo del estudio propuesto, implica realizar una inversión a fin de obtener resultados que tienen un valor y un beneficio técnico – ambiental y social, destinado a desarrollar innovación tecnológica. Así que el costo de la inversión para desarrollar esta propuesta encierra el producto de los costos directos e indirectos, para al final obtener el costo total de la inversión en el sistema de uso de biogás como combustible en un moto-generador eléctrico rural.

Además, de determinar los costos que incurren en el proyecto, es necesario comprender que al utilizar energías alternas para convertirlas en energía eléctrica también tiene un beneficio social, cuya importancia genera un impacto social de gran relevancia. Para ello dentro del análisis de costo – beneficio, existen varias técnicas de medición de impacto que facilitan la medición de proyectos destinados a beneficio social, investigativo e innovación; entre ellas, la técnica ACE de Walter Hillermann mide el cumplimiento de los objetivos que no se pueden valorar en moneda a partir de la evaluación, con la eficacia y eficiencia en el logro de aquellos. La medida de la eficacia es el impacto.

En este estudio el impacto y los beneficios sociales que acarrea la propuesta, “Desarrollo, construcción y pruebas de un sistema de uso de biogás como combustible en un moto-generador eléctrico rural”, utilizando la técnica de Hillermannse concreta en una matriz descriptiva de relación beneficio – impacto.

5.1 Costos de la inversión

Agrupar:

- Costos directos: (Materiales).
- Costos indirectos. (Asesoramiento profesional e ingeniería, gastos de investigación, ensayos y pruebas).
- Costo total de la inversión en el proyecto.

5.1.1 Costos directos

5.1.1.1 Materiales. A continuación se detalla todos los materiales y elementos utilizados para el suministro de biogás al motor.

Tabla 10. Adquisición de materiales

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total (USD)
1	Moto-generador Honda	\$ 350,00	\$ 350,00
1	Medidor de flujo de biogás	\$ 70,00	\$ 70,00
2	Llaves de paso	\$ 1,50	\$ 3,00
1	Tubo PVC	\$ 3,50	\$ 3,50
1	Type	\$ 0,50	\$ 0,50
1	Jarra de 1/2 litro	\$ 0,85	\$ 0,85
4	Acoples	\$ 1,25	\$ 5,00
1	Alimentador de biogás	\$ 15,00	\$ 15,00
SUBTOTALES			\$ 447,85

Fuente: Autor

5.1.2 Costos indirectos

5.1.2.1 Asesoramiento profesional e ingeniería

Tabla 11. Costos de Ingeniería

Posición	Total
Ingeniería	\$ 700,00
SUBTOTAL	\$ 700,00

Fuente: Autor

5.1.2.2 Gastos de investigación

Tabla 12. Gastos de investigación

Descripción	Valor total
Manuales de consulta	\$ 30,00
Internet	\$ 35,00
Utilización de PC	\$ 20,00
Suministros y materiales	\$ 5,00
Viáticos	\$ 105,00
Otros gastos	\$ 25,00
SUBTOTALES	\$ 220,00

Fuente: Autor

5.1.2.3 Costos de ensayos y pruebas

Tabla 13. Costos de ensayos y pruebas

Ensayo/prueba	Laboratorio	Equipos	Costo unitario	Total (USD)
Análisis de gases de una muestra de biogás	Laboratorio de análisis instrumental de la ESPON	CROMATOGRAFÍA	\$ 34,40	\$134,40
Pruebas en el motor con biogás	AGROGANA	DINAMÓMETRO	\$ 55,00	\$ 55,00
SUBTOTALES				\$189,40

Fuente: Autor

5.1.3 Costo total

Tabla 14. Costo total

COSTO TOTAL	
Gastos de investigación	\$ 220,00
Asesoramiento profesional e ingeniería	\$ 700,00
Adquisición de materiales	\$ 447,85
Ensayos y pruebas	\$ 189,40
COSTO TOTAL	\$ 1557,25

Fuente: Autor

5.2 Costos de producción

Para el presente estudio partimos de cálculos del costo de la principal materia prima (m^3) de biogás, combustible que será utilizado a través del moto-generador para convertirla en energía eléctrica.

Luego calculamos el costo de producción del kW/h producido a través de moto-generador utilizando el biogás como combustible, considerando los demás gastos y costos que el proceso requiere, a fin de conocer el costo unitario real de nuestro kW/h.

5.2.1 Cálculo del costo de metro cúbico de biogás

PRODUCCIÓN DIARIA

500m³

Tabla 15. Costos de producción biogás

Costos de producción		
	Valor anual	Valor diario
Materia prima	\$ 13140,00	\$ 36,00
Mano de obra	\$ 3816,00	\$ 10,45
Gastos indirectos de fabricación	\$ 12184,00	\$ 33,38
Total costo de producción	\$ 29140,00	\$ 79,84

Fuente: Autor

Tabla 16. Costo unitario del m³ de biogás

Costo unitario del m³ de biogás	
(=) costo de producción diaria dividido para el número de metros cúbicos producidos por día	\$ 0,16
El costo unitario de m³ de biogás es igual a USD:	\$ 0,16

Fuente: Autor

5.2.2 Cálculo del costo del kilovatio hora

PRODUCCIÓN DIARIA DE ELECTRICIDAD PROVENIENTE DEL PROYECTO

14KW

Tabla 17. Costo de producción kW

Costo de producción			
	Cantidad	Valor unitario	Valor diario
Materia prima (Biogás m ³)	12,74	\$ 0,16	\$ 2,04
Gastos indirectos de fabricación			
Combustibles (Gasolina lt)	0,13	\$ 0,07	\$ 0,19
Aceite (lt)	0,13	\$ 0,69	\$ 0,09
Mantenimiento			\$ 0,21
Depreciación moto-generador			\$ 0,19
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN			\$ 2,72

Fuente: Autor

Tabla 18. Costo unitario del kW

Costo unitario del kilovatio de luz con el motogenerador	
Igual al costo de producción diaria dividido para el número de kilovatios producidos por día	\$ 0,19
El costo unitario del kW/h es igual a USD:	\$ 0,19

Fuente: Autor

5.2.3 Cuadro comparativo de disminución de pago por electricidad

Tabla 19. Cuadro comparativo

CUADRO COMPARATIVO

	PRODUCCIÓN DIARIA (kW) CON BIOGAS	MENSUAL (kW)	
		14	420
CONSUMO DE ENERGIA			
	Mensual	Valor unitario	Costo total (USD)
BIOGAS	420	\$ 0,19	\$ 79,80
HIDROELÉCTRICAS	420	\$ 0,08	\$ 33,60

Fuente: Autor

Si la utilización del biogás nos permite generar 420 kW por mes utilizando el motogenerador, esta producción de energía eléctrica disminuye el pago del valor correspondiente facturado por la empresa eléctrica, equivalente a 33,60 USD mensual.

Se puede observar que el costo unitario del kW/h de la empresa eléctrica es de 0,08 centavos de dólar, puesto que es una generación de gran escala, donde se optimizan costos y tecnología; y, el costo unitario del kW/h del proyecto es de 0,19 centavos de dólar, en razón de que la producción es investigativa, y de innovación tecnológica, por lo que los costos resultan más elevados. Situación que encamina al inicio de nuevos retos de producción masiva a fin de mejorar los costos y contribuir al desarrollo de nuevas utilidades de fuentes de energía que no afecten al medio ambiente, desarrollen a la comunidad, optimicen el manejo de desechos orgánicos; y, permitan tener alternativas energéticas renovables.

5.3 Matriz de relación beneficio – impacto

Tabla 20. Matriz de relación beneficio - impacto

Punto/medición	Lo que se mide	Descripción
Resultados	Esfuerzo	<p><u>Actividades</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptación del carburador del motor. • Circuito de alimentación del biogás. • Funcionamiento general del sistema. • Medición de resultados de la prueba.
Objetivo/ la investigación	Efecto	<p><u>Beneficios</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de energía eléctrica. • Reducción de gastos energéticos para los usuarios y subsidios para el gobierno. • El biogás satisface la necesidad de combustible.
Objetivo de desarrollo e innovación tecnológica	Impacto	<p><u>Cambios sostenibles alcanzados en la situación de los beneficiarios.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Impactos en la atmósfera al prescindir de energía eléctrica proveniente de las termoeléctricas. • Generación de energía limpia y cultura de protección ambiental. • Desarrollo rural promoviendo un óptimo manejo de desechos orgánicos. • Disminución de riesgos de seguridad y de salud pública, debido al tendido eléctrico.

Fuente: Autor

En base a la matriz de relación beneficio – impacto, la respuesta del presente estudio en la relación al impacto del trabajo con los cambios obtenidos para beneficio de la comunidad, se puede concretar con certeza que la utilización de energía eléctrica generadas con otras alternas y limpias, inclusive benefician la buena salud de la población con respecto a la contaminación generada por el tendido eléctrico como los que se originan en personas que viven a 50 metros cerca de los cables de alta tensión, investigación que lo afirma el artículo “Vivir cerca de tendidos eléctricos de alta tensión asociado con la enfermedad de Alzheimer” del blog DOCTOR NEWS (2012) [...]

CAPÍTULO VI

6. ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

La utilización del biogás como combustible para motores, en forma permanente, requiere la purificación de éste antes de que entre al motor. Esta purificación comprende: la reducción del sulfuro de hidrógeno contenido en el biogás a menos de 0,25 por ciento, para prevenir la corrosión en las superficies metálicas, también la extracción del bióxido de carbono a los efectos de incrementar el poder calorífico del biogás resultante.[19]

Para un funcionamiento estable del motor con biogás, es necesario acoger ciertas recomendaciones generales de operación que garanticen en lo posterior un buen funcionamiento del motor. En forma general estas recomendaciones son las siguientes:

- Es conveniente dar marcha al motor con gasolina, y después de haberse calentado se puede pasar a alimentarlo con biogás, abriendo lentamente la válvula de la tubería de biogás y al mismo tiempo cerrando el paso de la gasolina.
- La presión del gas deberá ser regulada a través de algún dispositivo regulador de presión, se puede realizar esto, utilizando una campana con sello de agua, que a la vez sirve como depósito intermediario.
- El biogás produce más calor en el cilindro, debido a esto el sistema de refrigeración del motor debe estar en perfectas condiciones.
- Una pre-ignición de la mezcla (Aire-biogás) puede ocurrir, si la cantidad de biogás en relación a la del aire fuera excesiva, lo que provoca un descenso de temperatura de la mezcla (Aire/biogás), quedando abajo de la temperatura de compresión. La pre-ignición provoca sacudidas en el motor lo que es inconveniente para su buen funcionamiento.
- Inspeccione con frecuencia la válvula de entrada del biogás y las respectivas tuberías, juntas, etc., para que no haya accidentes por fuga del biogás.
- Manipule la válvula del biogás con delicadeza, sin abrirla o cerrarla bruscamente, evitando de esta manera un funcionamiento anormal, causado por la variación rápida de las cantidades de biogás admitidas por el motor.
- El motor debe ser mantenido en la misma carga siempre que sea posible, para evitar regulaciones frecuentes de la válvula de entrada del biogás, lo que interfiere con el funcionamiento del motor y baja su rendimiento.

6.1 Funcionamiento

ADVERTENCIA

- El gas de escape contienen monóxido de carbono venenoso. Nunca haga funcionar el generador en un área cerrada. Asegúrese de proporcionar una ventilación adecuada.
- Opere el generador sobre una superficie nivelada. Si el generador está inclinado, el derrame de combustible puede resultar.

PRECAUCIÓN

El generador es refrigerado por aire y puede dañarse si la ventilación es inadecuada.

6.1.1 Pre-operación de verificación

1. Compruebe el nivel de aceite del motor.
 - a. Con el generador en una superficie plana, quite el tapón de llenado de aceite y compruebe el nivel de aceite.
 - b. Si el nivel es bajo, llene hasta el límite superior con el aceite recomendado. No llene en exceso, exceso de aceite resultará en pérdida de potencia y el tabaquismo.

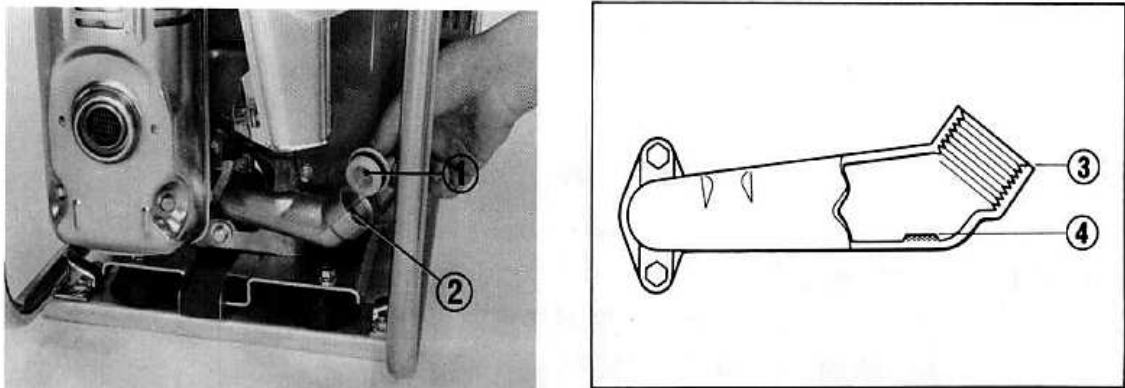
(1) Tapón de llenado de aceite.

(2) Orificio de llenado de aceite.

(3) Límite superior

(4) Límite inferior

Figura 19. Nivel de aceite



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

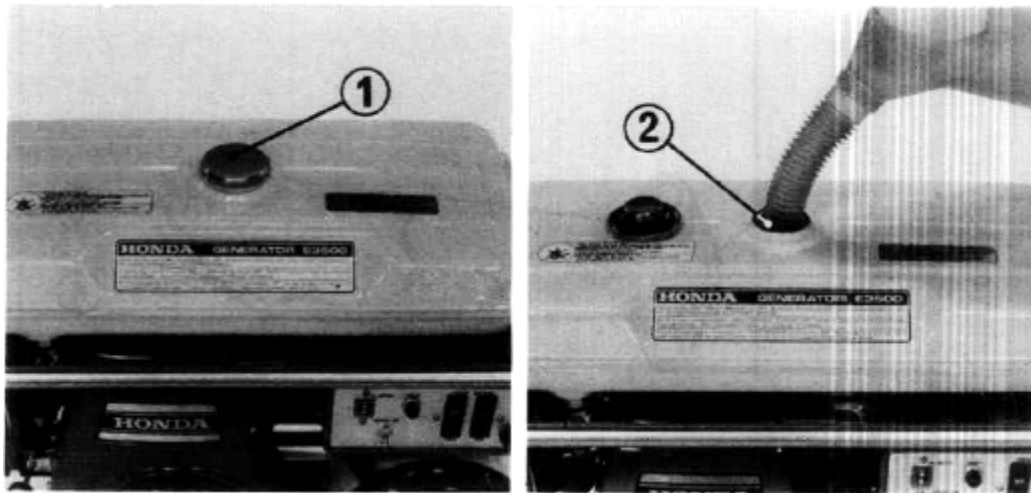
2. Compruebe el nivel de combustible.

Use gasolina automotriz con un octanaje de 91 o superior, o una bomba de octano (R + M) de 86 o superior. Llenar hasta la mitad del camino hasta la pantalla de carga. Nunca use una mezcla gasolina / aceite o gasolina sucia. Evite que entre suciedad, polvo o agua en el tanque de combustible.

ADVERTENCIA

- La gasolina es extremadamente inflamable y explosiva bajo ciertas condiciones. Cargue combustible en un área bien ventilada y con el motor parado.
 - No fume ni permita llamas o chispas en el área donde se llena el depósito del generador o donde la gasolina es almacenada.
 - No llene demasiado el tanque y asegúrese de que el tapón del depósito esté bien cerrado después de rellenar.
 - Tenga cuidado de no derramar combustible al repostar. El vapor de combustible puede encender. Si se derrama combustible, asegúrese de que el área esté seca antes de arrancar el motor.
3. Asegúrese de que el interruptor de corriente alterna está apagada.

Figura 20. Nivel de combustible



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

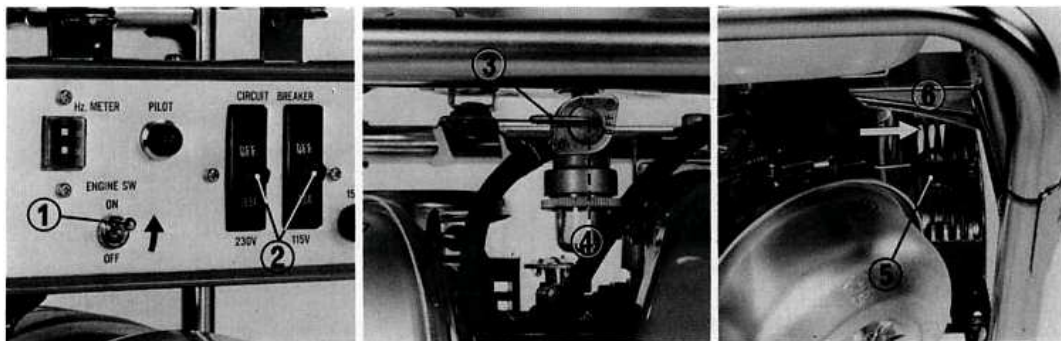
6.1.2 *Arranque del motor*

1. Gire el interruptor del motor ON y apagar los interruptores de circuito o desconecte el cable de carga de las terminales de CD.
2. Gire la válvula de combustible. Cierre el estrangulador completamente.

NOTA: No utilice el coque cuando el motor está caliente o la temperatura del aire es alta.

- (1) Motor conmutador
- (2) Los interruptores automáticos
- (3) Combustible válvula
- (4) En la posición ON
- (5) La varilla del estrangulador
- (6) Posición CLOSE

Figura 21. Arranque del motor

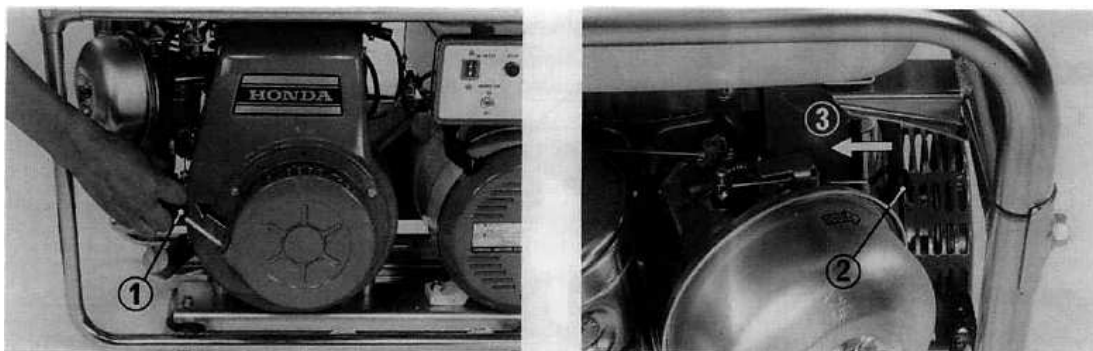


Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

3. Tire de la cuerda del arrancador de retroceso ligeramente hasta que sienta resistencia, luego jale rápidamente.
4. Abra el estrangulador cuando el motor se calienta.

- (1) Motor de arranque
- (2) La varilla del estrangulador
- (3) La posición OPEN

Figura 22. Arranque del motor



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.1.3 Parada del motor. Para detener el motor en caso de emergencia, apague el motor a la posición OFF.

En uso normal:

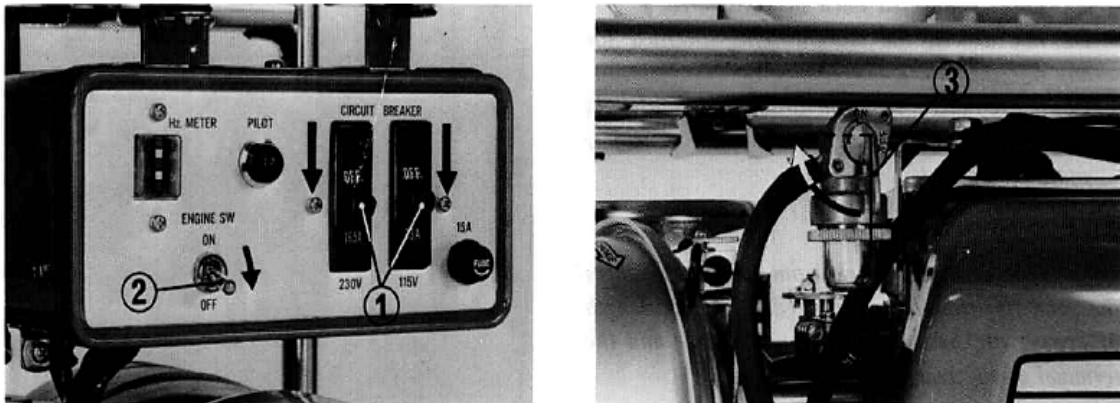
1. Encienda los interruptores de apagado y desconecte el cable de carga (si se utiliza).
2. Gire el interruptor del motor en OFF.
3. Gire la válvula de combustible.

(1) Los interruptores automáticos.

(2) Motor conmutador.

(3) Combustible válvula.

Figura 23. Parada del motor



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.2 Uso del generador

6.2.1 CA Aplicaciones. El generador está equipado con dos receptáculos para 115 V, 15 A de potencia, un receptáculo de 115V, 30^a, y un receptáculo de 230V, 15,2^a la potencia máxima disponible en los receptáculos es de 3,5 kW (3500 watts).

PRECAUCIÓN

- Límite la operación que requieran la potencia máxima de 30 minutos. Para una operación continua, no exceda el límite de la potencia nominal de 2,8 kW (2800 watts). En cualquier caso, la potencia total de todos los aparatos conectados deben ser considerados.
- No exceda el límite especificado para todos los recipientes.

- No conecte el generador a un circuito de casa. Esto podría causar daños en el generador y/o el circuito.

ADVERTENCIA

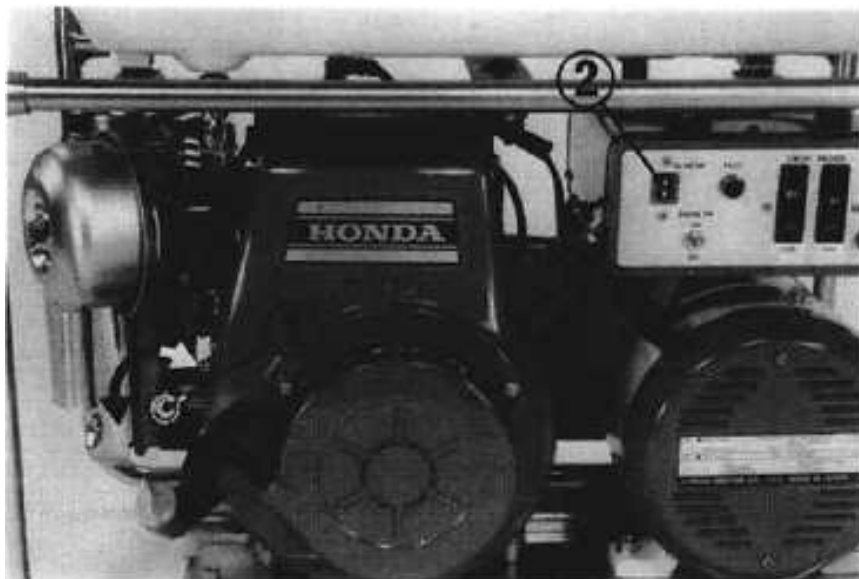
Para evitar una descarga eléctrica de artefactos defectuosos del generador debe estar conectado a tierra. Conectar una longitud de alambre pesado entre la fuente de tierra y el terminal en la parte posterior del generador.

1. Arranque el motor y compruebe que el generador está operando a 60 Hz. Si no es así, girar el mando del acelerador en la dirección apropiada hasta que la frecuencia correcta se obtiene.

(1) Perilla del acelerador.

(2) Medidor de frecuencia.

Figura 24. Medidor de frecuencia



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

2. Enchufe el aparato

NOTA: Observe el medidor de frecuencia cuidadosamente al conectar una grabadora o una radio. Si la frecuencia baja, vuelva a ajustar el acelerador según sea necesario.

El generador está equipado con un AVR (Regulador Automático de Voltaje). El voltaje no necesita ser ajustados si la frecuencia está ajustada correctamente. Si el generador no produce la tensión especificada en la frecuencia adecuada, consulte a un distribuidor autorizador HONDA.

6.2.2 *DC Aplicación*

PRECAUCIÓN

Utilice los terminales de CC para cargar baterías de 12 voltios de tipo automotriz solamente. Compruebe los positivos (+) y negativo (-) lados y realizar una conexión adecuada. No invierta la polaridad de los terminales cuando la carga de una batería. Graves daños al generador y/o la batería puede ocurrir.

NOTA: Los terminales de CC pueden ser utilizados mientras que la toma de CA está en uso.

6.3 **Mantenimiento**

El propósito del mantenimiento y ajuste periódico es para mantener el generador en la mejor condición operativa. Lleve a cabo el servicio en la fecha prevista en la tabla de la página 58.

ADVERTENCIA

Apague el motor haga el mantenimiento. Si el motor debe funcionar, asegúrese de que el área esté bien ventilada. El escape contiene gas venenoso de monóxido de carbono.

PRECAUCIÓN

Utilice únicamente piezas originales nuevas Honda o sus equivalentes. El uso de piezas de repuesto que no sean de la misma calidad puede dañar el generador.

Tabla 21. Periodo de mantenimiento del motor

PERÍODO DESERVICIO REGULAR		Diario	Primer mes	Cada 2 meses	Cada 3 meses	Cada 6 meses	Cada año o 300 horas.
Lleve a cabo una vez al mes o a los intervalos de una hora de funcionamiento, lo que ocurra primero			0 horas.	o 50 horas.	o 100 horas.		
TEMA							
Aceite del motor	Inspección	X					
	Cambiar		X		X		
Elemento del filtro de aire	Inspección	X					
	Cambiar			X(1)			
Limpieza del filtro de combustible					X		
Mantenimiento de la bujía					X		
Correa de ajuste					X		
Ajuste de la temporización de encendido							X(2)
Válvula de ajuste de la holgura							X(2)
La cámara de combustión y la válvula de limpieza							X(2)
Combustible inspección en línea (sustituírse si es necesario)							X
Parachispas		Limpieza cada 100 horas de funcionamiento					

Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

NOTA:

- (1) Servicio con mayor frecuencia cuando se utiliza en zonas polvorosas.
- (2) Estos deben ser revisados por un distribuidor autorizador Honda, a menos que el propietario tenga las herramientas adecuadas y suficientes conocimientos mecánicos. Consulte el Manual de taller Honda.

6.3.1 *Juego de herramientas.* Las herramientas proporcionadas son necesarias para llevar a cabo un mantenimiento periódico, simples ajustes y reparaciones. Siempre mantenga el con el generador.

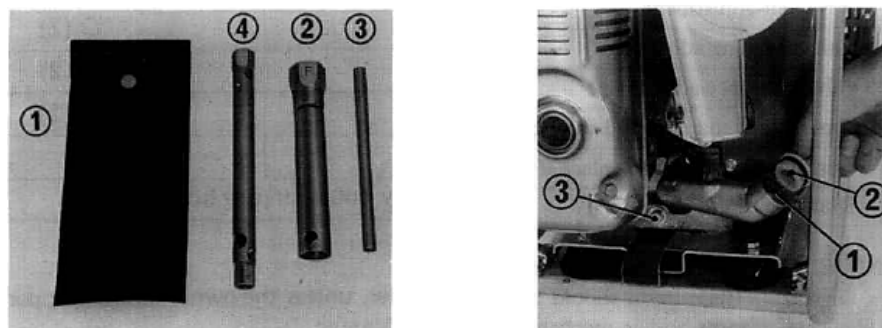
- (1) Bolsa de herramientas
- (2) La llave para bujías
- (3) Llave del tapón manejar
- (4) Llave 10 x 12 mm.

6.3.2 *Cambiar el aceite.* Drene el aceite mientras el motor aún caliente para asegurar un drenaje rápido y completo.

- 1. Retire el tapón de vaciado y drene el aceite. Vuelva a apretar el tapón.
- 2. Añada el aceite recomendado y comprobar el nivel.

- (1) Orificio de llenado de aceite
- (2) Tapón de llenado de aceite
- (3) Tapón de drenaje

Figura 25. Cambio de Aceite



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

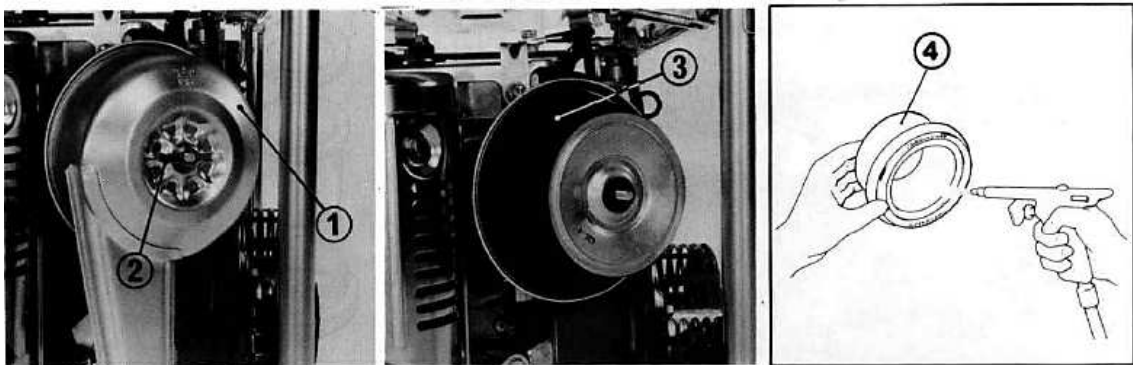
6.3.3 *Mantenimiento del Filtro de aire*

- 1. Afloje la tuerca de mariposa para quitar la cubierta. Retire y separar los elementos del filtro.
- 2. Lave el elemento de espuma en detergente líquido y agua y enjuague hasta que el agua salga limpia. Secar con cuidado mediante la aplicación de aire comprimido. Después del secado, de inmersión en aceite y escurra el exceso.

3. Elimine el polvo del filtro de papel mediante la aplicación de aire comprimido o tocando el caso a la ligera. Si el elemento de papel está excesivamente sucio, reemplácelo o lávelo con detergente líquido y agua y enjuague hasta que el agua salga limpia. Seque a fondo con aire comprimido antes de instalar.

- (1) Tapa del filtro de aire
- (2) Tuerca de mariposa
- (3) Espuma elemento
- (4) Elemento de papel

Figura 26. Mantenimiento del filtro de aire



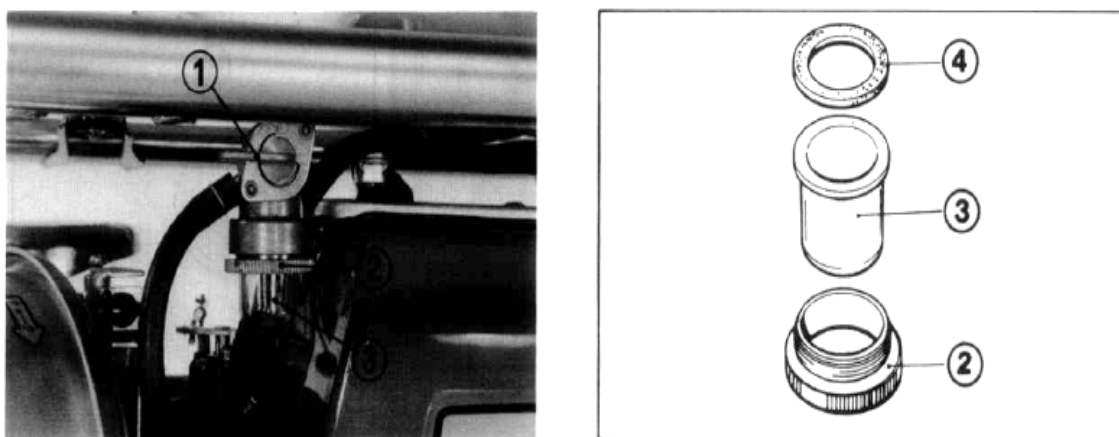
Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.3.4 Mantenimiento del filtro de combustible. El filtro evita que la suciedad o el agua que puede estar en el depósito de combustible, de entrar en el carburador. Si el motor ha estado funcionando durante un tiempo largo, el filtro se debe limpiar.

1. Gire la válvula de combustible. Retire la tuerca y la taza del filtro.
2. Limpiar a fondo la copa.
3. Volver a montar. No dañe la junta de goma.

- (1) Combustible válvula
- (2) Anillo de tuerca
- (3) Filtrar taza
- (4) Junta

Figura 27. Mantenimiento del filtro de combustible



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.3.5 Mantenimiento de la bujía

Bujía recomendado: BR-4HS (NGK); W14FR-U (ND)

Para garantizar un funcionamiento adecuado del motor de la bujía debe ser correcta y estar libre de depósitos.

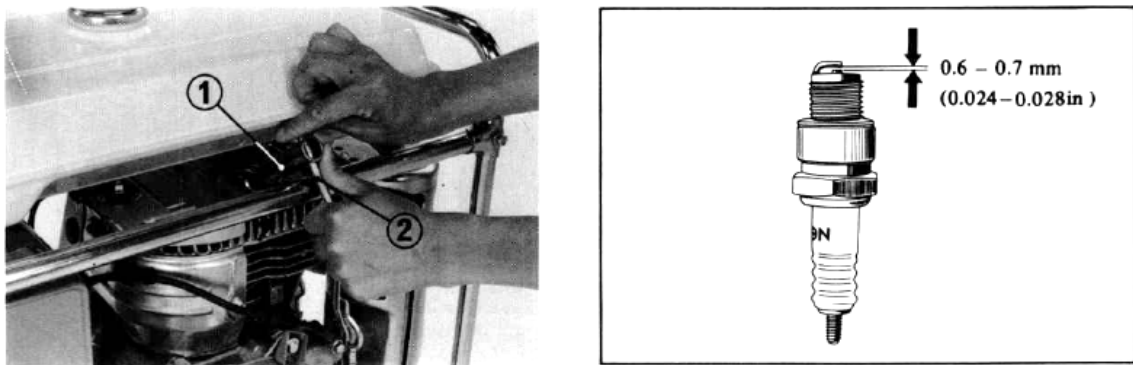
1. Limpie la suciedad alrededor de la base de la bujía.
2. Retire el tapón y utilice la llave para quitar la bujía.
3. Inspeccione visualmente la bujía. Descartar si el aislador está agrietado o astillado.
4. Mida la separación entre electrodos con una galga. El espacio debe ser de 0,6 - 0,7 mm (0,024 hasta 0,028 in). Corrija si es necesario doblando el electrodo lateral.
5. Coloque la arandela de tapón. Enrosque el tapón con la mano para evitar que la rosca.
6. Apretar una bujía nueva con $\frac{1}{2}$ vuelta a la llave para comprimir la arandela. Si vuelve a utilizar un enchufe sólo debe tomar $\frac{1}{8}$ - $\frac{1}{4}$ de vuelta después de haberse asentado enchufe.

(1) Llave para bujías

(2) Llave del tapón manejar

(3) Bujía

Figura 28. Mantenimiento de la bujía



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.3.6 Ajuste la correa de transmisión. Una correa suelta o deslizamiento causará una caída en la potencia de salida.

1. Retire la cubierta de la correa y compruebe la tensión empujando el centro de la correa. Debe haber aproximadamente 3 mm (0,12 pulg) de holgura.
2. Para ajustar la tensión, aflojar los pernos de montaje del generador. Afloje la contratuerca en el tornillo de ajuste y gire el perno.
3. Vuelva a apretar la tuerca de fijación y tornillos de montaje.

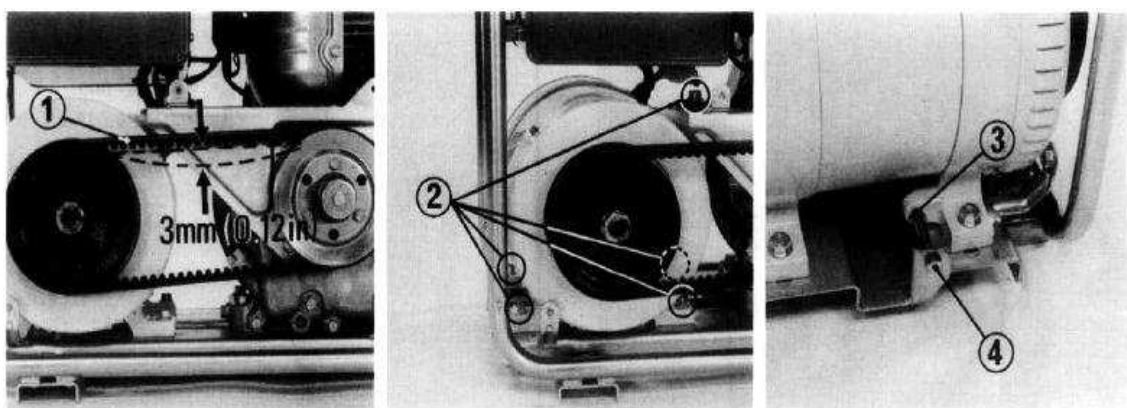
(1) Correa

(2) Pernos de montaje del generador

(3) Tuerca

(4) Perno de ajuste

Figura 29. Ajuste correa de transmisión



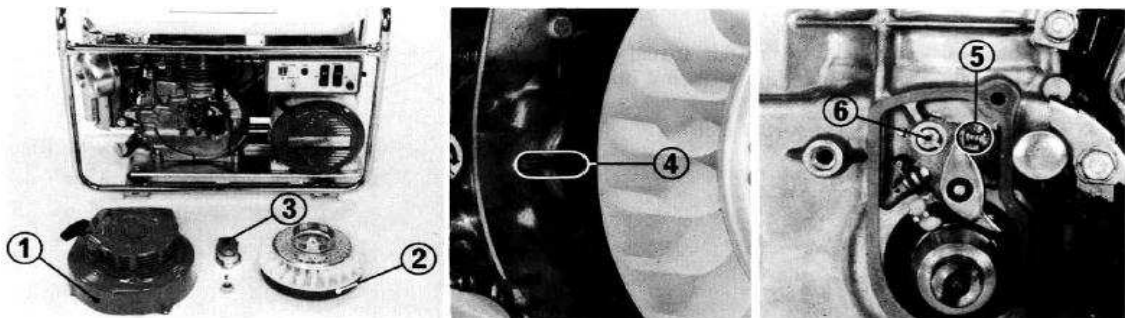
Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.3.7 Ajuste de la temporización de encendido. Verificar la puesta cuando lo especifica la tabla de mantenimiento periódico. Tiempo de encendido incorrecto causará dificultad y pérdida de potencia.

1. Retire la tapa del ventilador.
2. El tiempo apropiado es determinado por la apertura del punto correcto: el uso de un probador de distribución disponible en el mercado, gire el volante hacia la derecha y compruebe que los puntos comienzan a abrirse cuando el volante marca "F" pasa la marca en el cárter.
3. Si el tiempo no es el correcto, quite la polea de arranque, el ventilador, el volante y la tapa de punto.
4. Aflojar el tornillo de 5 mm y mover la placa rompedora hacia la derecha o hacia la izquierda según se requiera. Vuelva a apretar el tornillo y el tiempo vuelva a comprobar.

- (1) Cubierta del ventilador
- (2) Del volante
- (3) Punto de cubierta
- (4) "F" y marca la alineación
- (5) Puntos de contacto del interruptor
- (6) Tornillo 5 mm

Figura 30. Ajuste del temporizador de encendido



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

6.3.8 Mantenimiento del parachispas

ADVERTENCIA

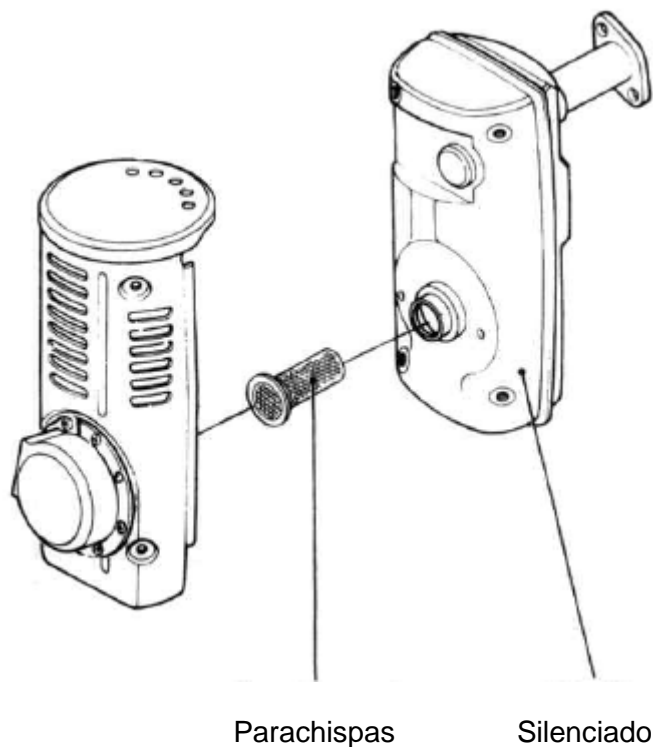
Si el generador ha estado funcionando, el silenciador estará muy caliente. Deje que se enfríe antes de continuar.

PRECAUCIÓN

El parachispas debe realizarse cada 100 horas de servicio para mantener su eficacia.

1. Afloje los cuatro tornillos y retire el protector del silenciador.
2. Quite el parachispas del silenciador. Limpie la pantalla y compruebe si está dañado. Reemplace si es necesario.
3. Instale el parachispas en el silenciador. Instale el protector del silenciador y apriete las tuercas y los pernos.
4. PAR: 80-120 kg-cm (5.8 a 8.7 ft-lb) [16]

Figura 31. Mantenimiento del parachispas



Fuente: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Sedemostró que es factible la adaptación de un motor a gasolina, al uso de biogás con los inconvenientes propios encontrados a través del desarrollo de la presente tesis. Lo más importante consiste en que se ha mantenido la integridad del motor, en cuanto a la no alteración de sus mecanismos, tal como hubiese sido el caso de la adaptación de un carburador especial para biogás. Lo que se ha hecho aquí es utilizar un carburador normal para gasolina, y sin alteración alguna poder hacerlo trabajar con biogás.

Para el aprovechamiento del biogás se ha reducido el porcentaje de H_2S a través de un filtro de limalla de hierro y como seguridad se ha implementado un corta llamas el cual extingue el fuego en caso que se regrese por las tuberías. Para la alimentación del gas se utilizó un dispositivo que permite el paso de éste a través de un orificio que posee un diámetro determinado, se lo regula por medio de una válvula de paso, y que luego trabaja en una posición fija, independientemente de la carga.

El biogás es un combustible alternativo renovable cuya fuente de producción es inagotable, lo cual lo convierte en un biocombustible altamente viable en la aplicación de motores de combustión interna para diversos fines.

Si bien es cierto que el biogás no presenta comodidades para la aplicación a motores, debido a su alto CEC, hay que recordar también, que se lo puede tratar para reducir el contenido de CO ; y así mejorar sus características y además en el lugar donde se lo produce se lo puede almacenar en grandes cantidades, comprimiéndolo, y así poder abastecer el consumo diario, y lo más importante de todo esto, es que el biogás está disponible sin costo alguno, exceptuando la construcción del digestor.

Mediante las curvas obtenidas, podemos mencionar que si bien es cierto que los parámetros tales como potencia, CEC, torque, etc. encontrados tanto para la gasolina, son mejores que los obtenidos con biogás, también es cierto que la gasolina tienen mejores características en cuanto a su composición. El biogás tiene aproximadamente 60% de CH_4 , que es el único combustible utilizable como tal en los motores. El CO_2 que ocupa el segundo lugar en la composición del biogás en volumen, diluye al CH_4 , disminuyendo su poder calorífico lo cual no es ventajoso cuando se quiere utilizar el biogás en motores.

La utilización del biogás nos permite generar 420 kW por mes utilizando el moto-generator, esta producción de energía eléctrica disminuye el pago del valor

correspondiente facturado por la empresa eléctrica, equivalente a 33,60 USD mensual, el costo unitario del kW/h del proyecto es de 0,19 centavos de dólar, en razón de que la producción es investigativa, y de innovación tecnológica, por lo que los costos resultan más elevados.

El motor al trabajar con biogás no soporta demasiada carga, tiende a operar con dificultades, por lo que se debe realizar el mantenimiento y ajuste periódico para mantener el generador en la mejor condición operativa, llevado a cabo el servicio en la fecha prevista.

7.2 Recomendaciones

Seguir las normas de seguridad y respetar las zonas de riesgo ya que esto evita atentados contra la vida de las personas.

El biogás como combustible eficaz para su masificación necesita purificación paralela a contenidos de metano de por lo menos un 90%, lo que nos permite tener un poder calorífico mayor y como consecuencia un mejor rendimiento de los equipos en los que se suministra biogás como combustible.

Se considera que es necesaria la medición continua de los caudales de biogás con los que se alimentan los generadores. En base a estos valores se determina la eficiencia de producción de energía eléctrica en relación a los m³ de biogás que se produce en el digestor.

Contribuir al desarrollo de nuevas utilidades de fuentes de energía que no afecten al medio ambiente, desarrollen a la comunidad, optimicen el manejo de desechos orgánicos; y, permitan tener alternativas energéticas renovables.

Se siga estudiando el comportamiento eficaz de un motor con biogás a corto, mediano y largo plazo a fin de determinar las condiciones en que quede el motor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Historia del biogás: http://porcinos.blogspot.com/2006/01/historia-del-biogas_113857323502124249.html. Consultado: Enero 2012.
- [2] Sistema innovador para la generación de energía eléctrica y producción de biosólidos a partir de la digestión anaeróbica de estiércol de bovino: Trabajo tomado de Premio a la Innovación Tecnológica, Guanajuato 2008.
- [3] Utilización del biogás: <http://blog.espol.edu.ec/biocombustibles/category/biogas/>
- [4] Biogás en el Ecuador.:<http://espanol.agbioengineering.com/1/post/2010/2/notas-breves-sobre-biogas-en-ecuador.html>
- [5] Características del biogás: <http://es.scribd.com/doc/143018109/purificacion-del-biogas>
- [6] Usos del biogás: <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>
- [7] Combustión del biogás: <http://tecno-s7.blogspot.com/2009/03/sistema-innovador-para-la-generacion-de.html>
- [8] Gilberto Zabala Navarrete; Combustibles y combustión
- [9] TODT,FRITZ. Corrosión y Protección, Aguilar, Madrid, 1.959
- [10] ARIAS, PAZ. Manual de Automóviles, Madrid, Dossat S.A., 1980-81
- [11] KIRK-OTHMER. Enciclopedia de Tecnología Química, Tomo 2 México D.F., UTHEA, 1961.
- [12] Moncayo, "Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás", 2008.
- [13] La Generación de energía eléctrica:
http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica
- [14] Ing. Rodrigo F. Díaz Bonifáz, Termodinámica Automotriz.
- [15] El motor de combustión interna aspectos generales:
<http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/304-articulo-motor-4t>
- [16] Manual motor honda: <http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>
- [17] Enríquez, Gilberto, "El libro practico de los generadores, transformadores y motores electrónicos", 2000).

[18] TESIS DE GRADO ESPE "Generación de gas metano a partir de desechos orgánicos y aplicación en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica".

[19] Uso del Biogás en Motores de Combustión Interna:

http://www.motores.uni.edu.pe/pry_01.html

BIBLIOGRAFÍA

- OBERT, EDWARD F.// Motores de combustión interna,// Continental s.a./ México D.F.
1979./
- ARIAS, PAZ. Manual de Automóviles, Madrid, Dossat S.A., 1980-81
- OLADE.// Manual de Biogás:// Guatemala 1981./
- GIACOSA, DANTE,// Motores endotérmicos, Barcelona,// Científica Médica,/ 3a. Ed.,
1970./
- ENCICLOPEDIA CEAC DEL MOTORYAUTOMOVIL.// El motor de gasolina,//
Barcelona,/ 3a. Ed. 1972./
- EPERRY, JOHN.// Manual del Ing. Químico,// Tomo 2,// UTHEA, México D.F.,
1959./
- TODT,FRITZ.// Corrosión y Protección,// Aguilar,// Madrid, 1.959
- KIRK-OTHMER.// Enciclopedia de Tecnología Química,// Tomo 2,// México D.F.,
UTHEA, 1961./

LINKOGRAFÍA

USO DEL BIOGÁS EN MOTORES DIESEL

http://www.motores.uni.edu.pe/pry_02.html

2012-09-11

BANCO DE PRUEBAS - MOTOR HONDA 3500

http://www.motores.uni.edu.pe/inf_04.html

2013-02-11

HISTORIA DEL BIOGÁS

http://porcinos.blogspot.com/2006/01/historia-del-biogas_113857323502124249.html.

2013-01-12

UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS

<http://blog.espol.edu.ec/biocombustibles/category/biogas/>

2013-02-04

BIOGÁS EN EL ECUADOR

<http://espanol.agbioengineering.com/1/post/2010/2/notas-breves-sobre-biogas-en-ecuador.html>

2013-02-04

CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

<http://es.scribd.com/doc/143018109/purificacion-del-biogas>

2013-02-14

COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS

<http://tecno-s7.blogspot.com/2009/03/sistema-innovador-para-la-generacion-de.html>

2013-03-07

LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

http://es.wikipedia.org/wiki/Generaci%C3%B3n_de_energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica

2013-03-08

EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ASPECTOS GENERALES

<http://www.moto125.cc/f125cc/reportajes/tenica/item/304-articulo-motor-4t>

2013-04-10

MANUAL MOTOR HONDA

<http://ubermanuals.com/product/honda-e3500-13337>

2013-05-03