



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: ANGAMARCA CASTILLO EDWIN RAÚL
AREQUIPA IZA DIEGO PAUL**

**TEMA: ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA CON BIOGAS Y APLICACIÓN PARA
LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**DIRECTOR: ING. MENA, LUIS
CODIRECTOR: ING. QUIROZ, LEONIDAS**

LATACUNGA, JULIO 2014

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

ING. LUIS MENA (DIRECTOR)

ING. LEONIDAS QUIROZ (CODIRECTOR)

CERTIFICAN

Que el trabajo **“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON BIOGAS Y APLICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”** realizado por EDWIN RAÚL ANGAMARCA CASTILLO Y DIEGO PAUL AREQUIPA IZA , ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas en el reglamento de estudiantes por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

Debido a que es un proyecto de excelente calidad y contenido científico que servirá para la enseñanza, aprendizaje, aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional por lo que si recomendamos su publicación.

El mencionado trabajo consta de DOS documento empastado y DOS discos compactos el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat PDF. Autorizan a: ANGAMARCA CASTILLO EDWIN RAÚL y AREQUIPA IZA DIEGO PAUL que lo entregue al ING. JUAN CASTRO, en su calidad de Director de la Carrera.

Latacunga, julio del 2014.

Ing. Luis Mena
DIRECTOR

Ing. Leonidas Quiroz
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edwin Raúl Angamarca Castillo
Diego Paul Arequipa Iza

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON BIOGAS Y APLICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**” ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, julio del 2014

Edwin Raúl Angamarca C.
C.C. 172116663-3

Diego Paul Arequipa I.
C.C. 050242811-3

UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, EDWIN RAÚL ANGAMARCA CASTILLO
DIEGO PAUL AREQUIPA IZA

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE para que se publique, en la biblioteca virtual de la Institución el trabajo denominado **“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON BIOGAS Y APLICACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”** en el que se encuentra contenido, ideas y criterios que son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, julio del 2014

Edwin Raúl Angamarca C.
C.C. 172116663-3

Diego Paul Arequipa I.
C.C. 050242811-3

DEDICATORIA

La confianza en sí mismo es el primer secreto del éxito.

A Dios por guiar siempre mi camino, por cuidarme siempre de todo mal y por darme la sabiduría para alcanzar mis metas y objetivos en la vida.

A mi madre Bertha Castillo a quien amo con toda mi alma, por su gran lucha, esfuerzo y sacrificio realizado para brindarme los recursos necesarios, por su incansable insistencia en darme el estudio e incondicional apoyo para no desmayar en los momentos difíciles, y enseñarme que para alcanzar los sueños se tiene que luchar sin descansar.

A mi padre Raúl Angamarca por ser un ejemplo de vida, quien no ha podido estar a mi lado pero que siempre me ha apoyado, por sus consejos y su confianza en mí.

A mi esposa por estar a mi lado en las buenas y en las malas durante toda mi carrera, por ser mi mejor amiga y compañera, por ayudarme a tomar las mejores decisiones en todo momento.

A mi hermano y sobrino por enseñarme que el deseo de superación es muy grande y que se puede levantar cuando uno piensa que está totalmente perdido por enseñarme a luchar y luchar por alcanzar el tan anhelo de triunfo en la vida.

Edwin Angamarca (Raperito)

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Luz Iza y Ramiro Arequipa gracias por hacer todo lo posible y mucho más, que junto a su apoyo incondicional me supieron guiar por el buen camino.

A mi abuelito José María Iza Almachi quien en vida me inculco los primeros valores, me enseñó a dar los primeros pasos y desde el cielo me bendice para que nada malo me suceda, no lo pudiste ver pero te la dedico Iza José María.

A todos los miembros de la familia Iza Toaquiza que de indistinta manera supieron colaborar, alentar tanto a mis padres como a mi persona para no desmayar y culminar esta etapa importante, una más en mi vida.

Diego Arequipa

AGRADECIMIENTO

El presente proyecto quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones recibidas y por permitirme llegar a concluir con una etapa más en mi vida.

A mis padres, esposa, hermano y sobrino, que gracias a ellos me he mantenido en pie de lucha contra todas las adversidades de la vida y por todo el apoyo que me dieron hasta culminar mi carrera.

Agradezco a los ingenieros Luis Mena y Leonidas Quiroz, director y codirector respectivamente quienes con su experiencia y enseñanzas direccionaron de la mejor manera la elaboración de este proyecto.

A la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE por permitirme ser parte de ella, por brindarme los conocimientos y enseñanzas y por formar un líder de la patria.

A mi compañero de tesis Diego Arequipa por su colaboración y amabilidad e insistencia pudimos culminar este proyecto.

Al Ingeniero Alberto Naranjo de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE sangolqui quien nos abrió las puertas, compartió sus conocimientos.

A los amigos y compañeros de la carrera de Ingeniería Automotriz por su amistad y lealtad, en las buenas y en las malas han estado ahí dando su apoyo en toda la carrera.

Edwin Angamarca (Raperito)

AGRADECIMIENTO

A Dios por protegerme y proteger a toda mi gente por ser justo entre los justos, por dejarme seguir vivo y por poner a mi lado un grupo de fieles amigos, durante todo el tiempo de formación ya que gracias a ello pude superar cada dificultad que se me presento en este trayecto.

A mis padres por ese esfuerzo económico inmenso, por su apoyo moral y paciencia no hay palabra más adecuada que decir sino un “Dios le Pague” a ustedes por hacer lo imposible para formar en mí una persona diferente.

A la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE y a cada uno de mis maestros que inculcaron en mí, conocimiento, amistad y valores que a futuro las pondré en práctica en todo ámbito y así dejar en lo alto el nombre de esta institución y en especial el de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

A todos los compañeros de la carrera de Ingeniería Automotriz como también de otras carreras con los que se pasó momentos únicos y anécdotas inolvidables.

A mi director Ing. Luis Mena y codirector Ing. Leonidas Quiroz por compartir sus conocimientos, tener paciencia, apoyar y guiado en la elaboración de esta tesis.

Diego Arequipa

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO 1	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A INVESTIGAR	12
1.4 OBJETIVOS.....	13
1.4.1 GENERAL	13
1.4.2 ESPECÍFICOS	13
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	14
1.6 HIPÓTESIS.....	15
CAPÍTULO 2	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 BIOGAS.....	16
2.1.1 ETAPAS INTERVINIENTES.....	17
2.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS	19
2.1.3 PROPIEDADES DEL BIOGAS.....	19

2.1.4	EL BIOGAS EN EL ECUADOR.....	20
2.1.5	PROPIEDADES DEL BIOGAS DE LA HACIENDA “SAN FRANCISCO”	24
2.2	MOTOR DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA	25
2.3	PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	26
2.3.1	POTENCIA $P(KW)$	26
2.3.2	POTENCIA AL FRENO O EFECTIVA $P_f(KW)$	26
2.3.3	POTENCIA INDICADA $P_i(KW)$	28
2.3.4	POTENCIA DE FRICCIÓN.....	30
2.3.5	PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO	31
2.3.6	PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA	33
2.3.7	TORQUE $T_q (Nm)$	34
2.3.8	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (mc)	36
2.3.9	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE	37
2.3.10	CONSUMO DE AIRE (\dot{m}_a).....	39
2.3.11	RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE ($\frac{\dot{m}_a}{mc}$).....	40
2.3.12	EFICIENCIA MECÁNICA (η_m)	41
2.3.13	RENDIMIENTO TÉRMICO (η_t).....	42
2.3.14	RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO (η_v)	43
2.4	BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TECQUIPMENT TD II4	45
2.4.1	EQUIPO UTILIZADO	47
2.4.2	PROCEDIMIENTO BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TECQUIPMENT TD II4	47
2.4.3	COMPONENTES DEL BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TECQUIPMENT TD II4	50
2.4.3.1	VARIADOR DEL RÉGIMEN DE ROTACIÓN DEL MOTOR	50
2.4.3.2	MEDIDOR DE TORQUE.....	51
2.4.3.3	MEDIDOR DE REVOLUCIONES POR MINUTO A LAS QUE GIRA EL EJE DEL MOTOR	51

2.4.3.4	MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	52
2.4.3.5	MEDIDOR DE INGRESO DE AIRE	53
2.4.3.6	MEDIDOR DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE.....	54
2.5	ANÁLISIS DE EMISIONES DE ESCAPE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	56
2.5.1	CO (MONÓXIDO DE CARBONO).....	57
2.5.2	CO ₂ (DIÓXIDO DE CARBONO)	57
2.5.3	HC (HIDROCARBUROS NO QUEMADOS)	57
2.5.4	O ₂ (OXIGENO).....	58
2.5.5	NO _x (ÓXIDOS DE NITRÓGENO)	58
2.5.6	RELACIÓN LAMBDA (λ)	58
2.6	GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES.....	59
2.6.1	PARÁMETROS PERMITIDOS POR LA CORPAIRE PARA EL CONTROL DE GASES EN LOS VEHÍCULOS	59
CAPÍTULO 3		62
3.	SELECCIÓN Y MODIFICACIÓN DEL MOTOR - GENERADOR DE GASOLINA A BIOGÁS.....	62
3.1	SELECCIÓN DEL MOTOR - GENERADOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	62
3.1.1	SISTEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR-GENERADOR LUTOOL.....	64
3.2	CONVERSIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL DE GASOLINA A BIOGÁS.....	72
3.2.1	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE BIOGÁS.....	73
3.3	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A BIOGÁS	73
3.3.1	TRAMPA DE CONDENSADOS.....	75
3.3.2	CONJUNTO CAUDALÍMETRO – SOPLADOR.....	75
3.4	MEZCLADOR.....	80
3.4.1	MEZCLADOR TIPO VENTURI	81
3.4.2	FUNCIONAMIENTO.....	82
3.4.3	CÁLCULO DEL MEZCLADOR	83

3.4.4	DESARROLLO	84
3.4.5	DIMENSIONAMIENTO DEL MEZCLADOR	84
3.5	COMPONENTES ADAPTADOS EN EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL CON BIOGAS	88
	CAPÍTULO 4	92
4.1	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR - GENERADOR LUTOOL PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS CON BIOGAS RESPECTO A LA GASOLINA	92
4.2	CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS.....	94
4.2.1	POTENCIA AL FRENO P_f (KW)	94
4.2.2	PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO	95
4.2.3	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (\dot{m}_c)	97
4.2.4	CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO	97
4.2.5	CONSUMO DE AIRE (\dot{m}_a).....	98
4.2.6	RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE (\dot{m}_a/\dot{m}_c).....	99
4.2.7	RENDIMIENTO TÉRMICO (η_t).....	99
4.2.8	RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO (η_v)	100
4.3	CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL CON GASOLINA.....	104
4.4	CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL CON BIOGAS.....	105
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	109
4.6	ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES	112
4.6.1	ANALIZADOR INFRARROJO DE CUATRO GASES.....	113
4.6.2	PROCEDIMIENTO.....	114
4.6.3	TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS	116
4.6.4	ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS.....	116
	CAPÍTULO 5	120
5.	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	120

5.1	INSTALACIÓN EN LA HACIENDA "SAN FRANCISCO"	126
	CAPÍTULO 6	129
6.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	129
6.1	RECURSOS	129
6.1.1	RECURSOS HUMANOS.....	129
6.1.2	RECURSOS TECNOLÓGICOS	130
6.1.3	RECURSOS MATERIALES.....	131
6.2	COSTO DE INSTALACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIOGAS.....	132
6.3	FINANCIAMIENTO	133
6.4	CRONOGRAMA.....	134
	CAPÍTULO 7	135
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
7.1	CONCLUSIONES	135
7.2	RECOMENDACIONES	136
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
	ANEXOS	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Curvas características del motor	7
Figura 2.1: Componentes del Biogas.....	16
Figura 2.2: Tiempo de retención en función de la temperatura.....	18
Figura 2.3: Proceso de la planta procesadora de desechos sólidos en Ambato.....	23
Figura 2.4: Reservas de Potencias	27
Figura 2.5: Valor Máximo de Potencia.....	28
Figura 2.6: Potencia con la mariposa de aceleración parcialmente abierta	28
Figura 2.7: Presión Media Indicada y presión Media Efectiva	29
Figura 2.8: PMEI & (α A) encendido, para diferentes tipos de mezcla.....	29
Figura 2.9: Variación de <i>Pf</i> ricción	30
Figura 2.10: Embalamiento	31
Figura 2.11: Presión Media Efectiva al freno Vs variación de mezcla.....	32
Figura 2.12: Adelanto y retraso mediante la PMEF.....	32
Figura 2.13: Relación de compresión vs PMEF	33
Figura 2.14: Diagrama de trabajo.....	34
Figura 2.15: Variación de torque para diferentes exigencias.....	34
Figura 2.16: Comportamientos del torque, con otros parámetros.....	35
Figura 2.17: Consumo de Combustible	36
Figura 2.18: Máxima potencia y Consumo de Combustible.....	37
Figura 2.19: El CEC disminuye con N	38
Figura 2.20: Consumo de Combustible	39
Figura 2.21: Consumo de Aire de acuerdo al tipo de motor.	40
Figura 2.22: Variación del (η_m) vs (rc).....	41
Figura 2.23: Rendimiento Térmico vs Relación de Compresión	42
Figura 2.24: Rendimiento Térmico vs Relación A/C.....	43
Figura 2.25: La eficiencia volumétrica en función de la velocidad	44
Figura 2.26: Banco Dinamométrico Hidráulico.....	45
Figura 2.27: Unión entre el eje del motor y ele del dinamómetro.....	48
Figura 2.28: Calibración del dinamómetro	48
Figura 2.29: Medidores Encerados	49
Figura 2.30: Variación de la Carga Hidráulica.....	50
Figura 2.31: Medidor de Torque	51
Figura 2.32: Tacómetro del Banco Dinamométrico	52

Figura 2.33: Llave de Paso y Depósito de Combustible	52
Figura 2.34: Elementos para Medir el Consumo de Combustible.....	53
Figura 2.35: Probeta de Consumo de combustible de 16 mililitros.....	53
Figura 2.36: Tanque y tubo conectado al motor para medir el ingreso de aire.....	54
Figura 2.37: Medidor de ingreso de aire en mm H ₂ O.....	54
Figura 2.38: Termocupla instalada en el tubo de escape.....	55
Figura 2.39: Medidor de temperatura de la salida de los gases de escape	55
Figura 3.1: Motor-generator LUTOOL	64
Figura 3.2: Válvula de Combustible	64
Figura 3.3: Alimentación de combustible	65
Figura 3.4: Interruptor del Motor-Generador.....	66
Figura 3.5: Circuito de encendido de Motor-Generador	67
Figura 3.6: Circuito de encendido de Motor-Generador	68
Figura 3.7: Componentes del Sistema de Encendido.....	68
Figura 3.8: Empuñadura del Arranque	69
Figura 3.9: Lubricación del Motor-Generador LUTOOL.....	70
Figura 3.10: Medidor de aceite y orificio de drenaje	70
Figura 3.11: Aletas de Refrigeración.....	71
Figura 3.12: Sistema de alimentación de biogas	73
Figura 3.13: Diagrama de alimentación de biogas	74
Figura 3.14: Trampa de Condensados.....	75
Figura 3.15: Caudalímetro de Biogas	75
Figura 3.16: Esquema de soplador de biogas.....	76
Figura 3.17: Soplador de biogas.....	77
Figura 3.18: Biofiltro para remover el H ₂ S a nivel industrial.....	78
Figura 3.19: Filtro de limallas para remover H ₂ S del biogas.....	78
Figura 3.20: Estructura interna del filtro de oxidación.....	79
Figura 3.21: Conjunto Caudalímetro, Soplador y Filtro H ₂ S.....	79
Figura 3.22: Conjunto Mezclador	80
Figura 3.23: Mezclador.....	81
Figura 3.24: Funcionamiento del mezclador.....	83
Figura 3.25: Elementos del Sistema de Alimentación de biogas.	88
Figura 3.26: Regulador de Ingreso de biogas.	89
Figura 3.27: Ingreso de biogas.	89
Figura 3.28: Manómetro de Presión.....	90

Figura 3.29: Entrada de biogas a la Cámara.....	90
Figura 3.30: Ingreso de biogas a la Cámara	91
Figura 3.31: Instalación del sistema de Alimentación de biogas.....	91
Figura 4.1: Pruebas	92
Figura 4.2: Curva de Potencia	104
Figura 4.3: Curva del Torque	104
Figura 4.4: Curva de Consumo de Combustible	105
Figura 4.5: Curva de Potencia	108
Figura 4.6: Curva del Torque biogas.....	108
Figura 4.7: Consumo de biogas.....	109
Figura 4.8: Curva de Torque Gasolina y Biogas.....	110
Figura 4.9: Curva de Potencia Gasolina y Biogas	110
Figura 4.10: Curva del consumo gasolina y Biogas	111
Figura 4.11: Analizador de gases Infrarrojo KAL EQUIP.	113
Figura 4.12: Realización del análisis de emisiones de Gases.....	115
Figura 4.13: Impresión de análisis de emisiones con Gasolina.....	115
Figura 4.14: Impresión de análisis de emisiones con Biogas	115
Figura 4.15: Contenido de Hidrocarburos	117
Figura 4.16: Contenido de Dióxido de carbono.....	117
Figura 4.17: Contenido de monóxido de carbono.....	118
Figura 4.18: Contenido de Oxígeno	118
Figura 5.1: Generador LUTOOL conectado a la entrada de biogas.....	120
Figura 5.2: Perno que une el eje del motor al rotor del generador	121
Figura 5.3: Rotor del generador LUTOOL.....	121
Figura 5.4: Estator del Generador LUTOOL.....	122
Figura 5.5: Rotor y Estator del Generador LUTOOL.....	123
Figura 5.6: Motor-Generador Lutool conectado a los Consumidores.....	123
Figura 5.7: Motor-Generador Lutool funcionando con gasolina	124
Figura 5.8: Motor-Generador Lutool funcionando con biogas	125
Figura 5.9: Cable Sujeto al Poste de Concreto	126
Figura 5.10: Cable Extendido al Cajetín.....	126
Figura 5.11: Cajetín	127
Figura 5.12: Componentes del Cajetín	127
Figura 5.13: Interruptor de Activación de Focos	128
Figura 5.14: Comedor; sitio alumbrar	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Etapas en la producción de biogas.....	18
Tabla 2.2: Factores que intervienen en la producción de biogas	19
Tabla 2.3: Propiedades del Biogas en Comparación con otros Combustibles.....	20
Tabla 2.4: Características del Biodigestor de la Hacienda “San Francisco”	24
Tabla 2.5: Propiedades del biogas de la Hacienda “San Francisco”	25
Tabla 2.6: Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles	59
Tabla 2.7: Valores de Umbrales de Emisiones.....	60
Tabla 3.1: Matriz de selección del motor-generator.....	62
Tabla 4.1: Valores obtenidos con Gasolina.....	93
Tabla 4.2: Valores obtenidos con Biogas	93
Tabla 4.3: Valores con Gasolina	103
Tabla 4.4: Variación de la presión y temperatura según a.s.n.m.....	106
Tabla 4.5: Valores con biogas	107
Tabla 4.6: Rendimientos Obtenidos	112
Tabla 4.7: Tabulación de Resultados obtenidos	116
Tabla 5.1: Valores Medidos con gasolina.....	124
Tabla 5.2: Valores medidos con biogas.....	125
Tabla 6.1: Recursos humanos.....	129
Tabla 6.2: Recursos Tecnológicos.....	130
Tabla 6.3: Recursos Materiales.....	131
Tabla 6.4: Costos de instalación para la generación de energía eléctrica.....	132
Tabla 6.5: Gasto total del proyecto presentado.....	133

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1: Potencia.....	27
Ecuación 2.2: Potencia al freno.....	27
Ecuación 2.3: Potencia indicada.....	29
Ecuación 2.4: Potencia de fricción	30
Ecuación 2.5: Presión media efectiva.....	31
Ecuación 2.6: Consumo volumétrico de aire teórico	31
Ecuación 2.7: Presión media efectiva indicada.....	33
Ecuación 2.8: Altura del área de la presión media efectiva indicada.....	33
Ecuación 2.9: Torque	34
Ecuación 2.10: Consumo de combustible.....	36
Ecuación 2.11: Volumen de combustible.....	36
Ecuación 2.12: Consumo específico de combustible al freno	37
Ecuación 2.13: Consumo específico de combustible indicado.....	37
Ecuación 2.14: Consumo de aire.....	39
Ecuación 2.15: Relacion Aire/Combustible	40
Ecuación 2.16: Eficiencia mecánica	41
Ecuación 2.17: Rendimiento térmico al freno	42
Ecuación 2.18: Rendimiento térmico indicado	42
Ecuación 2.19: Rendimiento volumétrico.....	44
Ecuación 2.20: Consumo volumétrico de aire real.....	44
Ecuación 2.21: Combustion Aire/Combustible.....	56
Ecuación 2.22: Porcentaje de CO y O ₂	56
Ecuación 2.23: Porcentaje de CO ₂ y particulas por millón de HC	56
Ecuación 2.24: Relacion Lambda ideal.....	58
Ecuación 2.25: Relacion Lambda en mezcla rica	58
Ecuación 3.1: Cantidad de aire admitido por el motor.....	84
Ecuación 3.2: Relación de caudal	85
Ecuación 3.3: Número de MACH.....	85
Ecuación 3.4: Diámetro de Ingreso de Biogas.....	86
Ecuación 3.5: Combustión CH ₄ con O ₂	86
Ecuación 3.6: Relación de moles de CH ₄ y O ₂	87
Ecuación 3.7: Porcentaje de error	87
Ecuación 3.8: Relacion Aire/Biogas.....	87

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo principal analizar el rendimiento de un motor de combustión interna alimentado con biogas, mediante curvas características del motor como potencia, torque, consumo de combustible y análisis de emisiones de los gases resultado de la combustión de gasolina y biogas en el motor, utilizando un analizador de gases propiedad de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE , y así determinar si el uso del biogas como carburante alternativo en los motores de combustión interna es amigable con el medio ambiente y disminuye la contaminación. Para este fin se seleccionó un motor-generator cuatro tiempos gasolina marca LUTOOL, conformado por un motor de combustión interna y un generador de corriente alterna, se modificó el sistema de alimentación del motor para que funcione con biogas mediante la construcción y adaptación de algunos componentes. Con un Banco Dinamométrico Hidráulico TecQuipment TD II4 se obtuvo algunos valores y datos que determinarían el rendimiento del motor – generador alimentado con gasolina regular y biogas entre los que tenemos: revoluciones del motor, torque, ingreso de aire, temperatura de los gases de escape, consumo de combustible, Para las pruebas del motor se utilizó: 2000 cc de biogas que genera el biodigestor en las instalaciones de la Hacienda “San Francisco”, con 16 cc de gasolina las que se realizaron en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Una vez que se determinó el rendimiento tanto mecánico como eléctrico del motor – generador en función de los datos obtenidos y cálculos, en el cual se determina un rendimiento adecuado del motor y óptimo del generador se le dio la aplicación propuesta en el presente proyecto mediante la iluminación de una área determinada de la Hacienda “San Francisco”. “Área dispuesta y facilitada por la gerencia de la Hacienda”, alcanzando los resultados esperados.

Palabras Clave: Ingeniería, Biogas, rendimiento, mezclador, motor.

ABSTRACT

The main objective of this project is to analyze the performance of an internal combustion engine fueled with biogas, by means of features curves of the engine as power, torque and fuel consumption. For this purpose a four times gasoline engine – generator LUTOOL trademark, consisting of an internal combustion engine and a generator of alternating current power system engine was modified to run on biogas by building and adaptation of some components are selected. Some values and data were gotten with the help of TD II4 Hydraulic Dynamometric TecEquipment which will help us to determine the engine performance that is fueled with fuel and biogas. The values are: Engine speeds, torque, air intake, exhaust gas temperature, and fuel consumption. To test the engine, 2000cc of biogas with 16cc of fuel were used which is generated by the bio-digester inside the "San Francisco" farm facilities, this performance was made at the internal combustion engines laboratory of "Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE". Once verified the mechanical and an electric efficiency of the engine – generator based on the data and calculus in which the proper engine performance and optimum generator was determined, the proposal of this project was given by means of the implementation through lighting a specific area of the "San Francisco" farm. It was provided by the management of the farm. The results were the expected ones.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La demanda de energía en el ámbito mundial se amplía en todas las actividades tanto industriales como domésticas del ser humano, las energías fósiles y vegetales (derivados del petróleo; carbón, etc.) con las que en la actualidad se intenta cubrir la demanda se agotan y no se renuevan. El abastecimiento del futuro se plantea problemático, por lo que es necesario un nuevo planteamiento energético.

En el sector agroindustrial del Ecuador, existen un sin número de unidades productoras, que generan diversos desechos orgánicos, los cuales hasta hace relativamente poco tiempo, se habían considerado como un problema de salud pública y contaminación ambiental. Con las tecnologías de energía renovable y leyes que apoyan al buen vivir, en particular el aprovechamiento de biogas, se abre la oportunidad para que estos desechos sean reutilizados para la generación de energía calórica y eléctrica. Los desechos de granjas porcinas, establos y rastros, presentan un gran potencial de generación de biogas, con la cualidad de que la energía generada con este compuesto, puede ser usada en diversos procesos productivos al interior de las explotaciones, de forma amigable con el medio ambiente. Se han instrumentado diversas acciones buscando fomentar el uso y aplicaciones de la energía renovable en el sector agropecuario, con el fin de generar un desarrollo sostenible y que coadyuve a disminuir los impactos negativos del medio ambiente. Se estableció la instalación de un motor - generador accionados con biogas, para la generación de energía eléctrica; buscando superar las barreras de desconocimiento de la tecnología, y lograr un efecto multiplicador de la misma. La viabilidad técnica en cuanto a la obtención de ahorros sustanciales con respecto a los consumos tradicionales de la energía utilizada; así como su viabilidad económica, debido su rentabilidad.

El alto costo de las inversiones iniciales limita en muchos países en vías de desarrollo el empleo de las energías renovables; es de vital importancia generar conciencia energética así como su educación medio ambiental. El empleo de la fuente renovable de energía de la Hacienda “San Francisco” de biogas como un fuerte aliado para el aprovechamiento energético en sus actividades cotidianas, a partir del estiércol de animales y desechos agrícolas como fuente renovable de energía, ha permitido el uso racional de los productos finales de ese proceso con su correspondiente impacto social y económico que brinde un interés especial a la aplicación de la tecnología del biogas bajo un nuevo enfoque energético vinculado al desarrollo sostenible en cuanto a su uso y explotación integralmente.

El uso del biogas como carburante en motores de combustión interna representa una fuente de energía de ostensibles recursos en el Ecuador, pues en sus diferentes actividades industriales se genera gran cantidad de biomasa que es poco aprovechada en la actualidad. Uno de estos sectores productores de biomasa y generadores de biogas mediante procesos de descomposición anaeróbica es el sector agrícola - ganadero en especial la Hacienda “San Francisco” quienes poseen un sistema de tratamiento de flujo continuo de biomasa para la generación de biogas, el presente proyecto tiene como objetivo analizar el rendimiento de un motor – generador utilizando el biogás como combustible alternativo para la generación de energía eléctrica.

Para el funcionamiento del motor utilizando biogas es necesario implementar un sistema adicional de paso del carburante, por lo que es necesario adaptar algunos componentes entre los que destaca mezclador de Aire/Biogas, pues es el elemento encargado de dosificar y regular la mezcla en proporciones adecuadas para el correcto funcionamiento del mismo. Una vez que se obtuvo el correcto funcionamiento del motor se procedió a analizar el rendimiento con la ayuda del Banco Dinamométrico Hidráulico TecEquipment TD II4 del cual se obtienen los valores del torque, consumo de combustible, ingreso de aire, temperatura de gases y las revoluciones de giro, valores que nos ayudaron a determinar el rendimiento y análisis de emisiones del motor con gasolina y biogas como combustible para realizar la

comparación de las curvas características de potencia, torque y consumo de combustible.

El análisis de las emisiones producidas en la combustión utilizando biogas como combustible alternativo ayuda a determinar las bondades del carburante desde el punto de vista ambiental.

La generación de energía eléctrica es la aplicación del motor - generador utilizando biogas en la Hacienda "San Francisco", para actividades necesarias y determinadas por los propietarios del lugar.

1.2 ANTECEDENTES

Desde el año 2009, La Hacienda "San Francisco" posee en sus instalaciones un fermentador de biomasa (biodigestor) para la producción de biogas, el cual fue construido por el GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES, de tal forma de aprovechar los desechos orgánicos producidos en sus actividades ganaderas y agrícolas.

La construcción del biodigestor de la Hacienda "San Francisco" en el año 2008 por el GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES, (Anexo A), el cual hace referencia y mencionan las características principales de construcción del biodigestor y todos sus componentes. EL GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES menciona que el fermentador se construyó específicamente para la digestión de excreta de ganado, residuos de pasto. Para mejorar la calidad de biol como fertilizante orgánico y utilizar en las plantaciones de rosas, sugirieron la digestión de gallinaza.

El resultado de la fermentación en el biodigestor de la Hacienda "San Francisco" es la producción de aproximadamente cincuenta metros cúbicos por hora, este biogás se utiliza para la calefacción del biodigestor y para la generación de energía eléctrica.

Para determinar las características del biogas producido por este biodigestor la Gerencia de la Hacienda ha realizado una cromatografía

(Anexo B), en el Laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela Politécnica Nacional la cual trabaja bajo la norma ASTM - D1945, la que hace referencia a un Análisis de Composición Química de los Gases.

La necesidad de contar con una norma de consenso que esté dirigida a la medición de hidrocarburos gaseosos y otros componentes de la corriente gaseosa que les permita a los usuarios cumplir mejor con la reglamentación del gas invernadero de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA, por sus siglas en inglés) impulsó el desarrollo de una nueva norma propuesta de ASTM International para satisfacer esa necesidad.

El desarrollo de la norma WK33788, Método de prueba para determinar la presencia de hidrocarburos y gases que no sean hidrocarburos en mezclas gaseosas mediante cromatografía de gases, está a cargo del subcomité sobre análisis de la composición química de combustibles gaseosos, que forma parte del Comité D03 de ASTM International sobre combustibles gaseosos.

Según Shannon Canfield, química especialista en comercialización con Wasson-ECE Instrumentation y presidente del Subcomité D03.07, la norma WK33788 unifica y amplía con tecnología actualizada dos normas de ASTM, la D1945 de ASTM, Método de prueba para el análisis de gas natural mediante cromatografía de gas, y la D1946, Método para el análisis de gas reformado mediante cromatografía de gases. "Las normas D1945 y D1946 seguirán en los textos ya que la industria del gas natural las usa como están redactadas". Sin embargo, Canfield menciona que muchos usuarios hacen análisis de hidrocarburos de combustible gaseoso con equipos y tecnología como las columnas capilares y varios detectores que no están incluidos en las normas mencionadas. Y "Para cumplir con lo que se está usando en la industria y brindarles a los organismos normativos un método más exacto que puedan citar, decidimos desarrollar la norma WK33788". Ésta cubrirá el análisis de partes por millón hasta el porcentaje de gases inertes como el hidrógeno, oxígeno, argón, nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono junto con un bajo nivel de ppm de hidrocarburos como el metano, etano y el propano en diversas corrientes gaseosas. La nueva norma se

pensó para que esté basada en el desempeño. La metodología descrita en la norma propuesta permite la separación de hidrocarburos y gases inertes de bajo peso molecular para lograr un análisis detallado de la composición de las corrientes gaseosas. Las refinerías y las plantas químicas, junto con laboratorios y organismos normativos, serán los principales usuarios de la norma WK33788. (Standardization News).

Por otro lado la utilización de los motores de combustión interna para aprovechar la generación de biogas como combustible alternativo y fuente de producción de energía ha tenido una gran acogida a nivel mundial.

El Instituto de Motores de Combustión Interna de la Universidad Nacional de Ingeniería específicamente la Facultad de Ingeniería Mecánica menciona que, La generación de energía eléctrica a partir de uso del biogas en motores de combustión interna ha sido el tema central de varios proyectos desarrollados en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); y, finalmente, se ha desarrollado una alternativa viable para la generación de energía eléctrica en lugares carentes. Esta alternativa consiste en la adaptación de pequeños grupos electrógenos, tanto de encendido por chispa (a gasolina) como Diésel, para trabajar con biogas, para lo cual se han efectuado algunas modificaciones, principalmente, en el sistema de alimentación de combustible. Estas modificaciones se caracterizan por el uso de tecnología sencilla y la economía de su realización.

Como es conocido, el biogas es una mezcla de gases provenientes de la descomposición de materia orgánica realizada por acción bacteriana en condiciones anaeróbicas (en ausencia de oxígeno). Este proceso puede ocurrir en forma natural, como en los pantanos, rellenos sanitarios, etc., o en un ambiente controlado, como en los biodigestores. Durante el desarrollo del proyecto se han visto aspectos vinculados con el diseño, construcción y pruebas del sistema de alimentación de los motores, incluyendo los mecanismos y accesorios de regulación en diferentes regímenes de operación del motor. Para el diseño del carburador/mezclador se ha empleado un modelo matemático para optimizar su geometría, minimizando

las pérdidas de presión y manteniendo la relación aire/combustible adecuada.

En el desarrollo del proyecto se logró implementar un sistema que permite un fácil arranque del motor y una alimentación confiable y segura de biogas, lo cual permitió hacer funcionar de manera adecuada el motor estacionario a gasolina, Honda GX-240 (relación de compresión: 8/1; cilindrada: 242 cm³; diámetro x carrera: 73x58mm; potencia máxima: 5,97 kW @ 3600 r.p.m.) con un combustible no especificado por el fabricante, esto es muy importante ya que con esto se vislumbra la posibilidad de electrificación de muchas comunidades rurales y urbano marginales que no tengan acceso a la energía eléctrica.

La implementación del sistema de alimentación de biogas no requiere de ninguna modificación en el sistema de alimentación de gasolina ni en el regulador de velocidad del motor utilizado. La potencia máxima desarrollada por el motor con biogas es 4,25 KW, la cual es aproximadamente 29% menor que la potencia nominal del motor (5,97 KW) trabajando con gasolina. Los resultados de las pruebas con biogas arrojaron un consumo específico de aproximadamente 0,65–0,70 m³/ (KW.h) a plena carga. El motor trabajó de manera estable en ralentí, pese a no contar con un sistema de alimentación de biogas para bajas cargas. Las emisiones tóxicas de los gases de escape son notoriamente menores utilizando el biogas como combustible, lo cual es muy importante desde el punto de vista ecológico (Ingeniería, 2014).

Un motor de pistones, alimentado con gasolina, no es capaz de alcanzar 100% de eficiencia térmica. Es decir, no puede aprovechar todo el calor generado por la combustión para transformarlo en fuerza motriz. Los motores de combustión interna a gasolina son derrochadores, su eficiencia térmica es bastante pobre. Alrededor de 30% de la energía calórica que disponen, la transforman en movimiento y la otra parte la disipan (pérdida), hacia la atmósfera. Su popularidad se basa en la agilidad de aceleración que

presentan, a diferencia de otros tipos como el diésel, que arrojan mejor eficiencia térmica pero son más lentos.

No todos desperdician igual cantidad de calor durante su funcionamiento. Comparando motores de características iguales, se considera más eficiente a aquel que utilice mejor porcentaje de calor para producir fuerza motriz. Variadas son las razones por la cual un motor puede cambiar su eficiencia térmica. Como ejemplo podemos mencionar un motor que está siendo refrigerado en exceso. Es decir, su sistema de refrigeración no es el apropiado ya que retira mayor calor que el adecuado. Como consecuencia de esto el conjunto opera a temperaturas menores y su fuerza motriz decae (Todomotores.com, 2013).

Las curvas características que el modo de ser (la característica) de un motor se deduce de los valores de potencia, momento y consumo específico de combustible medidos en un banco de pruebas para velocidades distintas, si se llevan esos valores como ordenadas sobre los números de revoluciones resultan mediante unión de los puntos correspondientes las curvas que llamamos características del motor (GERSCHLER & GTZ).

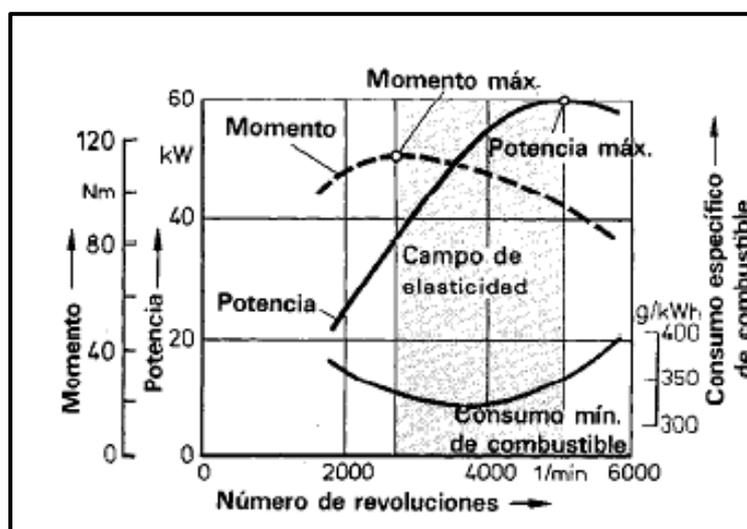


Figura 1.1: Curvas características del motor

Fuente: Tecnología del Automóvil Tomo II

La implementación del biogas en los MEP se da a partir de modificaciones de los que consumen gasolina y tienden a producir menos

energía que cuando son operados con combustible líquido fósil. La razón de este fenómeno es una disminución en la eficiencia volumétrica en la cámara de combustión al ser el biogas un combustible gaseoso que ocupa una mayor porción de volumen en la mezcla aspirada por el motor. Para el caso de la gasolina, esta se entrega líquida y al vaporizarse sobre la corriente de aire en el colector de admisión, los efectos de enfriamiento generan un aumento de la densidad y, por tanto, la cantidad de mezcla aire/combustible realmente aspirada por el motor ocupa un menor volumen, afectando en menor medida el desempeño del motor.

La modificación de un MEP es relativamente fácil, esta se basa en la adición de un mezclador de aire/biogas en lugar de carburador. El control del motor se realiza mediante la variación del suministro de mezcla; un aumento en la relación de compresión parece ser deseable, ya que proporciona un aumento en la eficiencia del proceso desde el punto de vista termodinámico, es de esperarse un bajo consumo específico de combustible y una mayor potencia de salida teniendo en cuenta el ajuste de parámetros de operación.

La modificación para la operación del MEP en el modo de biogas es permanente y debe evitarse el uso del combustible original. El ajuste del punto de ignición es importante ante la lenta velocidad de combustión del biogás aprovechando la ventaja de que este no impone ningún problema específico a encendido de sistema estándar, dando la ventaja de realizar ajustes en una gama suficientemente amplia.

Para MCI de gran capacidad se efectuó un estudio a partir de la conversión a encendido provocado, de un MEC convencional Hino K-13CTI de 13000 c/c y 24 válvulas que opera a 1500 rpm acoplado a un generador trifásico de 4 polos y 132 kW para producir electricidad a 50 Hz. La conversión consistió en la adición de un carburador de biogas para la mezcla de aire/combustible, la reducción de la relación de compresión de 16:1 a 8:1 mediante la aplicación de un separador en la cabeza del cilindro, la sustitución del sistema de inyección de combustible por un sistema de encendido por chispa y la modificación de la válvula wastegate del turbo cargador para regular la presión de sobrealimentación.

Para este estudio se varió: el coeficiente exceso de aire entre 0,9 y 1,2, el ángulo de avance de encendido entre 50° y 60° antes del punto muerto superior, y el ajuste de la sobrepresión de turbo-cargado entre los 40 a 68 KPa. La máxima eficiencia obtenida fue de 28,6 % para un exceso de aire de 1,097, un avance de chispa de ignición de 54° antes del punto muerto superior, y una sobrepresión de turbocargado de 56 KPa, con una potencia de generación de 134,2 kilowatts y unas emisiones de CO y óxidos de nitrógeno (NO_x) de 1154 y 896 ppm, respectivamente. En este régimen de funcionamiento de 1500 rpm, la eficiencia del MCI aumentó con el incremento de la presión del turbo entre 40 y 56 KPa, teniéndose un ligero acrecentamiento en las emisiones de NO_x y CO; cuando el impulso se intensificó de 56 KPa a 68 KPa, la eficiencia del MCI se redujo y las emisiones aumentaron.

En Costa Rica, de forma complementaria al estudio sobre filtros de óxido de calcio y alambrina para incrementar la calidad del biogas de excretas de animal, se evaluó el comportamiento de un grupo electrógeno basado en MEP, con capacidad de 40 kW y una conexión de 120/240 V, 60 Hz, trifásico, delta en serie de 4 hilos, operando continuamente con biogas totalmente seco. Esta planta supe durante las 4 horas diarias de mayor demanda la electricidad de la Finca Pecuaria Integrada de EARTH, compuesta por la porqueriza y la lechería, que consumen actualmente 10 kW/h. Se conectan a la planta eléctrica en las horas pico de demanda: la bomba de vacío del equipo de ordeño, el tanque de enfriamiento de la leche, la bomba de agua, el pulsador de la cerca eléctrica, la picadora de forraje, un trapiche, un refrigerador, una computadora, un ventilador y 10 bombillas. La energía eléctrica adicional generada se puede introducir y utilizar en la red eléctrica de la EARTH y mediante transferencia automática, se puede decidir si se utiliza la electricidad del generador o la proveniente del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). El motor de la planta eléctrica, diseñado para gas natural, fue calibrado para operar con biogas de mínimo de 55 % de CH₄ y máximo de 25 ppm de sulfuro de hidrógeno (H₂S), el biogas se suministró a presión entre 7 y 21 KPa con un rango de composición de metano variando entre 61 y 97 %, de forma que la proporción promedio de

metano en el biogas fue de 79,3 % y su poder calorífico se estimó de 7 372 kcal/m³.

Para un factor de utilización de planta del 35 %, el consumo promedio de biogas fue de 16 m³/h con una electricidad promedio consumida de 19 kW/h, dando una eficiencia de generación del 7 % y una relación de 2 m³ de biogas por cada kW/h generado.

En Colombia, para MCI de baja potencia operando con biogas, se estudió el desempeño de un MEP de 4 tiempos con relación de compresión de 7,5:1 bajo diferentes composiciones de CH₄ y CO₂. Se evaluó la potencia al freno, la eficiencia y las emisiones variando el avance de encendido, donde se observó que al disminuir el porcentaje de CH₄ en el biogas se presenta una reducción del rango de velocidad de rotación del motor y se requiere de un aumento del ángulo de avance de encendido, que a su vez varía en función de la velocidad de rotación. También se apreció una reducción drástica de la potencia máxima, del torque máximo y de la eficiencia respecto al uso de gasolina fósil, para parámetros de operación óptimos del motor a las diferentes velocidades de rotación.

Adicionalmente dicho estudio recomienda que al utilizar un gas pobre de forma permanente en motores de características similares debe aumentarse la relación de compresión, que permitiría obtener una mayor potencia y así un mejor desempeño con gas, pero con la desventaja de no poder emplear nuevamente gasolina, ya que la mayor relación de compresión implica el uso de un combustible de mayor octanaje para evitar la detonación en el motor. Propone finalmente el estudio del MEP operando con diferentes mezclas de biogas mediante la modificación de parámetros de ajuste del motor para así mejorar la curva de rendimiento.

Los MEP diseñados para gasolina y que operan con biogas, tienden a ser menos eficientes al aumentarse el porcentaje de dióxido de carbono en el biogas, ya que el CO₂ admitido en el combustible no es reactivo, ocupa espacio que impide el suministro de más combustible reactivo y adicionalmente actúa como moderador de la combustión lo que disminuye el

poder calorífico del combustible. Para estos motores los conductos de admisión fueron dimensionados para el funcionamiento con gasolina y el exceso de aire en operación estable se acerca al (1,1), lo que ocasiona que la mezcla de aire/biogás alcance una energía total durante la combustión menor que en la operación con gasolina. Con la disminución de la energía total alcanzada en la mezcla después de la combustión, la potencia producida disminuye en la misma proporción. Un biogás de 60 % CH_4 cuyo poder calorífico es de 25 MJ/m^3 se considera un gas pobre de media capacidad y causa una reducción de potencia alrededor del 20 % (metano purificado o gas natural 10 %, GLP 5 %).

La potencia y la eficiencia volumétrica del MCI para un mismo régimen dependen en gran medida de la composición del biogás, siendo mayor en operación con biogases de alta composición de metano que con composiciones débiles de metano. Por ejemplo, la potencia producida y la eficiencia volumétrica obtenida en un MEP, son mayores operando con biogás de 70 % de CH_4 que operando con biogás de 50 % de CH_4 , puesto que el primero tiene un mayor poder calorífico y menor cantidad de moderador de la combustión (CO_2).

La reducción de potencia en los MEP (afectación principal) debe preverse desde el mismo momento en que se seleccione el motor apropiado a una clase de potencia, para una aplicación dada y con una demanda de potencia especificada.

En los MEP el control de la potencia y velocidad se realiza por variación del suministro de mezcla aire/combustible, mediante el accionamiento de la válvula de mariposa situada entre el dispositivo mezclador y la entrada del motor. El cierre de la válvula de mariposa produce una caída de presión (efecto de estrangulamiento) en el flujo de mezcla, por lo cual el llenado del cilindro se da a baja presión lo que ocasiona una menor cantidad de mezcla aire/combustible con respecto a una masa y energía de referencia. Como resultado la potencia producida, la presión media efectiva y la eficiencia presentan una disminución en operación controlada (carga parcial) donde la

disminución de la eficiencia se observa por el aumento del consumo específico de combustible.

Para compensar los efectos antes mencionados, el motor debería mantenerse operando a velocidad media pero con mariposa abierta, lo que requiere de una combinación apropiada a los requerimientos de velocidad y potencia del equipo movido por el motor (Arango, Sierra, & Silva, 2013).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A INVESTIGAR

Los motores de combustión interna pueden funcionar con una amplia gama de combustibles tanto tradicionales como alternativos, debido a la similitud de las características de los componentes de los combustibles de tal forma que no afecten significativamente la funcionalidad y el rendimiento de los mismos, pues para aquello muchas de la veces es necesario realizar ciertas modificaciones y adaptaciones a los sistemas de alimentación para su correcto funcionamiento.

Las fuentes de energía son variadas y se puede aprovechar de distintas maneras es así que se aprovechó la biomasa que genera la Hacienda “San Francisco” en forma de combustible “biogas” producido en un digestor de tipo de membrana en un motor – generador LUTOOL en el que se determinó el rendimiento y las prestaciones que brinda dicho motor para la generación de energía eléctrica. Los parámetros de rendimiento que se analizaron son: potencia, torque y consumo de combustible, para lo que se utilizó un banco dinamométrico hidráulico, obteniendo datos que permitieron realizar el análisis del rendimiento tanto mecánico como eléctrico del motor – generador seleccionado en directa relación a las revoluciones de giro.

De esta manera delimitar si el biogas puede ser aprovechado energéticamente para la generación de energía eléctrica que satisfaga las necesidades de la Hacienda.

El desarrollo de este tipo de proyectos permitirá genera beneficios, dentro de los que destaca por un lado la generación de energía eléctrica en lugares

aislados de los servicios básicos mediante el aprovechamiento de biogas. Por otro lado, los sistemas de biogas atienden la problemática de impacto ambiental al disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, transmisores de enfermedades y diseminación de malos olores. Es un proyecto innovador en la utilización de sistemas de biogas con fines productivos, esta aplicación podría impulsar un desarrollo del mercado en esta materia.

Los motores – generadores operados con biogas pueden cubrir las necesidades de energía o gran parte de ella en haciendas medianas o grandes, dado que sus consumos de la red tradicional se ubican entre los 13,000 y 50,000 KW/h por mes, dependiendo del tamaño de la granja, lo que se transforma en un parámetro para la selección del tamaño del generador y su capacidad. A mediano plazo el uso de biogas influirá en las actividades como la iluminación de pequeñas áreas e incorporarse en los procesos de cocción de alimentos de las familias de pequeñas unidades productivas. Las unidades grandes podrán incorporar bombeo de agua y aspersion para riego, e inclusive generar calor para diversos usos. Otras unidades productivas podrán comercializar los lodos residuales como fertilizantes de calidad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

“ANALIZAR EL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON BIOGAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.”

1.4.2 ESPECÍFICOS

- Seleccionar el motor - generador para el análisis del rendimiento y la generación de energía eléctrica.

- Realizar las pruebas del motor - generador en el Banco Dinamométrico Hidráulico utilizando gasolina como carburante.
- Analizar las adaptaciones necesarias para la modificación en el sistema de alimentación del motor – generador con el fin de utilizar el biogas como carburante.
- Diseñar y construir un mezclador de Aire/Biogás
- Realizar las pruebas del motor - generador en el Banco Dinamométrico Hidráulico utilizando biogas como carburante.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas al motor – generador con los dos combustibles (Gasolina - Biogas).
- Realizar las curvas características de potencia, torque y consumo de combustible del motor – generador tanto con gasolina como con biogas.
- Determinar el rendimiento del motor – generador para la generación de energía eléctrica utilizando como carburante gasolina y biogas.
- Realizar el análisis de emisiones producidas en la combustión de gasolina y biogas.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Utilizar un combustible alternativo como fuente de energía en un motor de combustión interna con un carburante como el biogas y determinar el rendimiento que este tiene a diferentes regímenes de giro de tal manera de aprovechar para una aplicación específica como es la generación de energía eléctrica aprovechada para un sistema de alumbrado de la Hacienda “San Francisco”. Por lo que es importante analizar el comportamiento del motor respecto del combustible habitual (gasolina) y si éste brinda prestaciones similares que cuando funciona con biogás mediante el rendimiento de los motores delimitados por su torque, potencia y consumo de combustible, para poder aplicarlo al rendimiento como un generador de energía eléctrica, utilizando para ello un Banco Dinamométrico Hidráulico TecEquipment TD II4, y obtener una fuente de exploración y consulta para las personas y la comunidad interesada en la investigación de este tipo.

Así también se complementa con el análisis de emisiones producidas determinando cuan amigable o perjudicial con el medio ambiente es la utilización del biogas como carburante en los motores de combustión interna para la producción de energía eléctrica utilizando energías alternativas.

Esta energía puede ser utilizada en numerosos procesos que tienen incidencia en la economía, no solo por la generación de energía sino también por la producción de biofertilizantes de alta calidad. Por lo que el uso de biogas en motores – generadores debe estar sustentada en una profunda caracterización de los aspectos fundamentales que inciden en la correcta selección, diseño y explotación de estas tecnologías, por ello es fundamental determinar el rendimiento que brinda como carburante en motores de combustión interna, estableciendo los fundamentos teóricos relacionados al uso y aplicación que se les pueda dar.

1.6 HIPÓTESIS

El rendimiento del motor – generador LUTOOL utilizando biogas como carburante permitirá que la generación de energía eléctrica se realice con una eficiencia o rendimiento que no afecte a las prestaciones del generador.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 BIOGAS

El biogas es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogas depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogas, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (BERNERO, 2011).

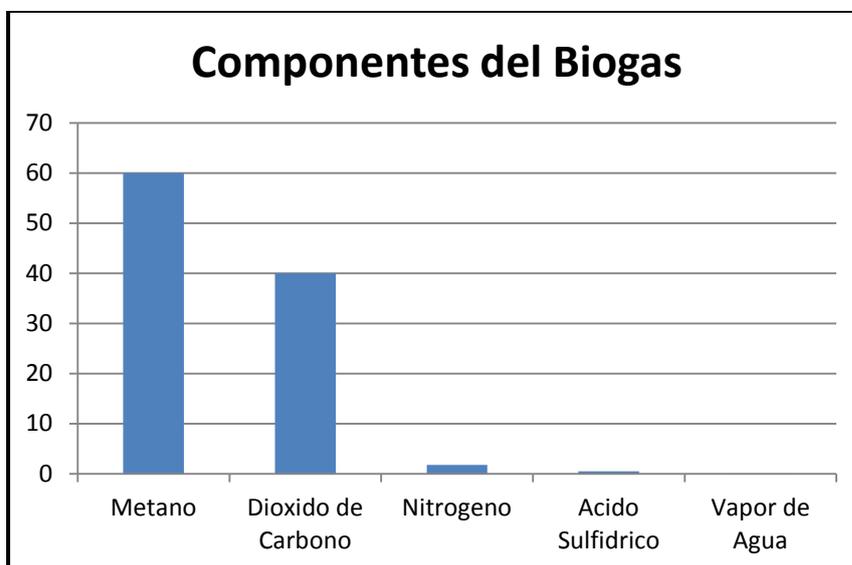


Figura 2.1: Componentes del Biogas

Fuente: Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras.

En el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogas que abandona el sistema.

El biogas se compone de aproximadamente 60% de metano (CH_4) y 40% de dióxido de carbono (CO_2). Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos ácido sulfhídrico (H_2S). Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de $700\text{ }^\circ\text{C}$, su llama alcanza una temperatura de $870\text{ }^\circ\text{C}$, y puede usarse como combustible cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50%, ya que tiene un alto valor calórico (19.6 a 25 MJ/m^3). (HERNÁNDEZ, SAMAYOA, ALVAREZ, & TALAVERA, 2012).

2.1.1 ETAPAS INTERVINIENTES

Para el proceso de producción de biogas en el interior de un biodigestor se necesita de la presencia de cuatro etapas importantes que se desarrollan en total ausencia de oxígeno

Las cuatro etapas en la producción de biogas son:

1. Hidrólisis
2. Acidogénesis
3. Acetogénesis
4. Metanogénesis

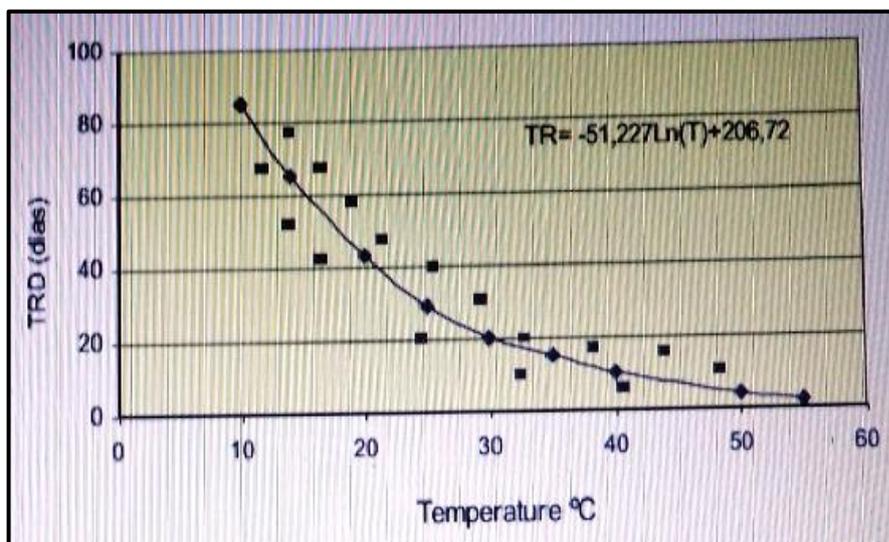
Las etapas para la producción de biogas y la transformación de la materia prima en cada etapa del proceso (CHUNGANDRO & MANITIO, 2010).

Tabla 2.1: Etapas en la producción de biogas

Fase	Descripción	Temperatura (°C)
1. Hidrólisis	Conversión de polímeros – monómeros.	5 - 15
2. Acidogénesis	Conversión de productos intermedios - ácido acético, hidrógeno, y dióxido de carbono.	16 - 25
3. Acetogénesis	Degradación de los ácidos orgánicos - hidrogeno y dióxido de carbono.	26 - 39
4. Metanogénesis	Conversión de los ácidos orgánicos en metano y dióxido de carbono.	40 - 60

Fuente: Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional.

Un factor muy importante a tener en cuenta en la producción de biogas es el tiempo de retención en días (TRD), este valor determina el tiempo de permanencia de la biomasa en el interior del digestor y varía de acuerdo a la materia orgánica utilizada, carga y temperatura.

**Figura 2.2:** Tiempo de retención en función de la temperatura.

Fuente: GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES, 2010

2.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS

Existen varios factores que influyen en la producción de biogas, y son los que determinaran la calidad de biogas.

Tabla 2.2: Factores que intervienen en la producción de biogas

Factores	Rangos
Tipo de sustrato	Material Orgánico
Temperatura	5 - 55 °C
Nivel de acidez (pH)	6.6 - 7.6
Carga volumétrica	Depende de la materia Orgánica
Tiempo de retención hidráulico	Depende de la materia Orgánica
Relación Carbono/Nitrógeno	Depende de la materia Orgánica
Concentración del sustrato	Depende de la materia Orgánica
Grado de mezclado	Depende de la materia Orgánica
Presencia de compuestos inhibidores	Depende de la materia Orgánica

Fuente: GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES, 2010

2.1.3 PROPIEDADES DEL BIOGAS

El biogas es un combustible natural, no fósil, de alto poder calorífico dependiente del contenido de gas metano. El biogas no se quema o explosiona con facilidad. A continuación se presenta una tabla en la que se muestran las principales propiedades del biogas y otros combustibles líquidos y gaseosos (CAMPS & MARCOS, 2008).

Tabla 2.3: Propiedades del Biogas en Comparación con otros Combustibles

Combustible	Composición media	Poder calorífico		Relación Estequiométrica	Poder Calorífico de la Mezcla	Número de Octano	Valores Críticos	
		MJ/m ³	MJ/kg				m ³ aire/ m ³ combustible	MJ/ m ³
Biogas	60% CH ₄ ; 40% CO ₂	21,6	17,8	5,72	3,21	> 120	-36	76
Gas de Gasógeno	23% CO; 18% H ₂ ; 10% CO ₂ ; 2% CH ₄	5,57	5,05	1,17	2,57	> 100	-130	51
Metano	CH ₄	35,9	50,1	9,53	3,41	115	-82,5	47
GLP	90% C ₃ H ₈ ; 10% C ₄ H ₁₀	93,5	46,3	s/n	3,68	112	90	44
Gasoil	C ₁₆ H ₃₄	s/n	41,8	s/n	3,97	s/n	s/n	s/n
Gasolina	C ₈ H ₁₈	s/n	43,1	s/n	3,77	> 90	296	24,2

Fuente: Los combustibles 2^{da} edición (CAMPS & MARCOS, 2008).

2.1.4 EL BIOGAS EN EL ECUADOR

En el Ecuador se está aprovechando la generación de biogas como fuente de energía para diferentes actividades domésticas e industriales es así, el Proyecto Pichacay en cuenca para lo cual se conformó una empresa de economía para la planta mixta, denominada EMAC-BGP Energy. La inversión es de 2 377 438 dólares. Según los estudios de perfectibilidad desarrollados por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, el proyecto prevé la generación de bio electricidad capaz de producir dos Mega Vatios por hora que servirá a cuencanos a través de un sistema interconectado.

Miguel Corral gerente de la EMAC-BGP Energy, la generación de biogas permitirá disminuir la contaminación ambiental con CO₂. Las obras civiles consisten en el movimiento de tierra, construcción de una plataforma y la nave industrial en donde se almacenaran los equipos que serán utilizados para la extracción del biogas. La captación del biogas se realiza mediante pozos perforados en las terrazas que almacenan la basura en el relleno de pichacay. Al lugar llegan cada día 480 toneladas de desechos sólidos. El gas que se extrae es destruido en un equipo de combustión interna y de esta forma se genera la energía eléctrica. (TIEMPO, 2013)

Los desechos sólidos de Ambato se convertirán en abono y bloques. La empresa canadiense Anpestrid ejecuta el proyecto para tratar las 240 toneladas de basura que se producen diariamente. Se prevé que a finales de agosto empiece a operar y con ello dará trabajo a unas 120 personas. La compañía tiene oficinas en varios países y en la región, solo está en Paraguay. Hace siete años, Ambato fue referente nacional al implementar el uso de 'ecotachos' en la ciudad. Siete años después, la ciudad vuelve a ser ejemplo, al construir la primera procesadora de todo el país que convierte los desechos sólidos en fertilizantes y material de construcción. Al momento, la compañía canadiense Anpestrid ejecutora del proyecto, edifica la planta junto a las instalaciones de la Empresa Pública Municipal de Gestión Integral de Desechos Sólidos de Ambato (GIDSA), al norte de la ciudad.

Peter Stryzga, gerente general de esta compañía en Ecuador, explicó los detalles de la iniciativa durante la inauguración de los trabajos. "El 100% de la basura que se produce a diario en Ambato recibirá un tratamiento especial, que convertirá la materia orgánica en abonos y fertilizantes. El resto servirá como materia prima para fabricar adoquines y bloques que se utilizarán para estabilizar laderas, taludes y muros de contención". El vidrio, plástico, papel y cartón; añadió, serán apartados para el debido proceso de reciclaje. Además, señaló que la elaboración de material de construcción no representa competencia para las fábricas artesanales de bloques y ladrillos, por cuanto la clase de adoquín que se fabrique será para uso industrial, y no casero.

El precio total del proyecto asciende a \$ 11'500.000, con una financiación compartida entre la Corporación Financiera Nacional (CFN) y la empresa canadiense. La obra empezó a ejecutarse hace una semana y se prevé que empiece a dar tratamiento a las 240 toneladas de basura que se produce en la ciudad cada día. La planta constará de 2 naves, de las cuales la primera se levantará sobre un terreno de 5 mil metros, junto a las oficinas de GIDSA.

En este proceso se buscaba una compañía que presente un proyecto de tratamiento a los desechos sólidos, en armonía con el medio ambiente y que además dé trabajo a personas de la localidad. Darío Mayorga Valle, gerente encargado de GIDSA, afirma que la iniciativa cuenta con todos los permisos respectivos, incluido el del Ministerio del Ambiente (MAE).

Omar Landázuri, director del MAE en Tungurahua, afirmó que la gestión y cuidado del medio ambiente de Ambato debería replicarse en todo el país. “El hecho de conseguir una materia prima aplicable a partir de basura es muy importante para una ciudad. Creo que el manejo ecológico de cada cantón debería contemplar el monitoreo de ruidos, olores y contaminación, aspectos que determinan un ambiente saludable”.

Anpestrid es una empresa con sede en Canadá y con presencia en Europa con 6 plantas y 10 procesadoras en Canadá y Estados Unidos. En Sudamérica, el único país donde han trabajado es Paraguay (Telégrafo, 2014).

La basura que ingresa al sistema, es manualmente separada y dirigida a los componentes fraccionarios del equipo, conformando un circuito de desechos constante que alimenta a la procesadora. Los componentes que puedan ser reutilizados o reciclados para ahorrar energía en su producción industrial original, son separados, clasificados y enviados para su uso como materia prima otra vez.

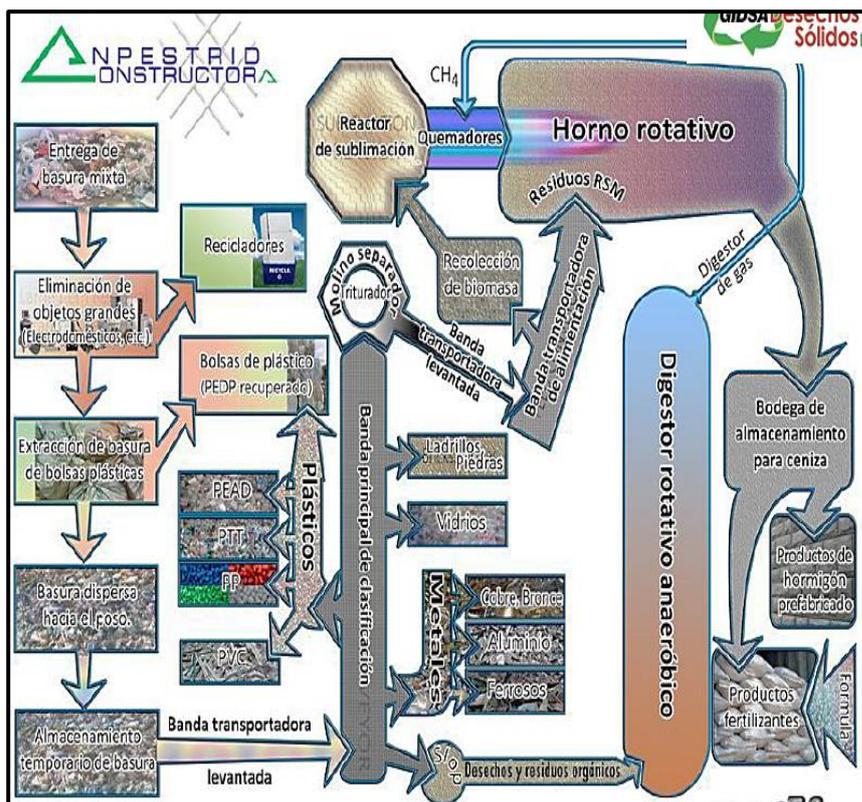


Figura 2.3: Proceso de la planta procesadora de desechos sólidos en Ambato y obtención de subproductos luego del procesamiento.

Fuente: GIDSA.

Los desechos de alimentos y residuos orgánicos de animales son enviados al digestor anaeróbico para la gasificación, el gas producido es utilizado para ayudar al horno en la combustión. Luego de esta separación de los elementos reciclables, una parte de la basura, es enviado al reactor de sublimación, donde se transforman de sólidos a gas combustible el cual es mezclado con el (fundamentalmente metano) producido en el digestor.

Los gases combinados se detonan en el horno rotativo, donde se incinera el resto de los desechos sólidos, produciendo cenizas. La cual es usada para fabricar mezclas de fertilizantes y productos de hormigón prefabricado, Los gases producidos en el proceso de combustión pasan a través de un depurador de alta eficacia, con tecnología avanzada para liberar una emisión inofensiva para la atmósfera (GIDSA, 2014).

Otro proyecto de generación de biogas en el Ecuador es el de la Hacienda “San Francisco” ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga sector Lasso a una altura aproximada de 2200 (msnm) con una temperatura promedio entre 5 y 37 grados centígrados en la cual se construyó un biodigestor para la producción de biogas y biol de alta calidad fertilizante (GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES, 2010).

Tabla 2.4: Características del Biodigestor de la Hacienda “San Francisco”

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL BIODIGESTOR DE LA HACIENDA “SAN FRANCISCO”	
BIODIGESTOR	
TIPO	LAGUNA CON FONDO DE GEOMEMBRANA Y CALEFACCIONADO
CUBIERTA	MEMBRANA FLEXIBLE DE CAUCHO
VOLUMEN DEL TANQUE DE MEZCLA	30 m ³
DIAMETRO DEL TANQUE DE MEZCLA	5 m
PROFUNDIDAD DEL TANQUE DE MEZCLA	1,5 m
FERMENTADOR	1300 m ³
ANTORCHA	
GENERADOR	70 KW
MOTOR DE AGITADOR	3 KW
BOMBA PARA ALIMENTACION AL BIODIGESTOR	5 KW
DIGESTION	ESTIERCOL DE VACUNOS, GALLINAZA Y PASTO
NIVEL FRATICO	1,2 m BAJO EL NIVEL DE TERRENO

Fuente: GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES, 2010

2.1.5 PROPIEDADES DEL BIOGÁS DE LA HACIENDA “SAN FRANCISCO”

En el Laboratorio de Análisis instrumental del Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional se realizó el reporte del análisis **LAI 024 – 13 O.T. Nº 540** por cromatografía de gases de una muestra de biogas en Quito – Ecuador el 10 de julio del 2013, la cual trabaja bajo la Norma ASTM - D 1945.

Tabla 2.5: Propiedades del biogás de la Hacienda “San Francisco”

Muestra	Muestra 1	
Presión(Psi)	Atmosfera	
Temperatura	20	
Componente		
	Muestra 1	
	%	%
	PESO	MOLES
Nitrógeno	6,97	7,04
Metano	27,85	49,19
CO ₂	63,03	40,47
H ₂ S	0,1	0,08
Agua	2,04	3,22
Densidad relativa	0,98	
Peso molecular promedio (g/gmol)	28,26	
Poder calorífico del biogás (Btu/pie ³)	498,4	

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Química De La Escuela Politécnica Nacional

2.2 MOTOR DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA

Un motor es un dispositivo que permite transformar cualquier tipo de energía en energía mecánica. Dentro de ese amplio campo, se encuentra el motor térmico, que se puede definir como el dispositivo que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica contenida en un fluido compresible.

En estos motores el ciclo de trabajo se completa en dos vueltas de cigüeñal o, lo que es lo mismo, en cuatro carreras del émbolo. De este último proviene la denominación de motores de 4 tiempos (PAYRI & DESANTES, 2011).

2.3 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Parámetros del motor independientes: ciclos por segundo, consumo de combustible, consumos de aire: teórico y real, relación combustible-aire, relación potencia-par, calor contenido en el combustible. Parámetros indicados: presión media, potencia, consumo específico de combustible, eficiencia, eficiencia volumétrica, expresiones adicionales. Parámetros efectivos: presión media, potencia, presión media por fricción, potencia consumida en pérdidas mecánicas, eficiencia mecánica. Problema. Criterios de semejanza de MCIA: geométrica, idénticas condiciones ambientales, igual cota de regulación, igual velocidad media del pistón y presiones medias coincidentes. Consecuencias de la semejanza de MCIA respecto a: potencias efectivas, velocidades de giro, potencia específica, pérdidas de calor por unidad de superficie, calor cedido al refrigerante por unidad de potencia. Semejanza de motores con diferente número de cilindros: relación entre cilindradas, relación entre potencias efectivas, relación de número de cilindros para igual potencia, relación de cilindrada para igual potencia, relación de número de cilindros para igual potencia y cilindrada. Comparación de parámetros de MCIA (Villamar, 2009).

2.3.1 POTENCIA P (KW)

La potencia es el trabajo realizado por el motor en una unidad de tiempo, esta depende de distintos factores entre tales como la relación de compresión, el; volumen unitario, la carrera, las rpm; una parte de la potencia es absorbida en vencimiento de rozamientos de sus elementos. Existen tres tipos de potencia: Efectiva, Indicada, Absorbida (CABRERA, 2012).

2.3.2 POTENCIA AL FRENO O EFECTIVA P_f (KW)

Es la potencia que se obtiene en el eje del motor, también es denominada potencia en la flecha. Indica la capacidad de cumplir con una determinada

cantidad de trabajo producido en la unidad de tiempo, ésta es la potencia real que se transmite a los ejes de salida en cualquier caso.

$$Pf = T_q \times \omega \text{ (KW)} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$Pf = T_q \times \frac{2\pi N}{60} \text{ (KW)} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

A la diferencia entre la potencia disponible y el valor de ella requerido por ciertas condiciones de resistencia, a una misma velocidad, se denomina reserva de potencia, la cual nos indicará si la potencia de una marcha determinada para esa resistencia, es la adecuada. A continuación se grafican las reservas de potencia para dos curvas de potencia (CABRERA, 2012).

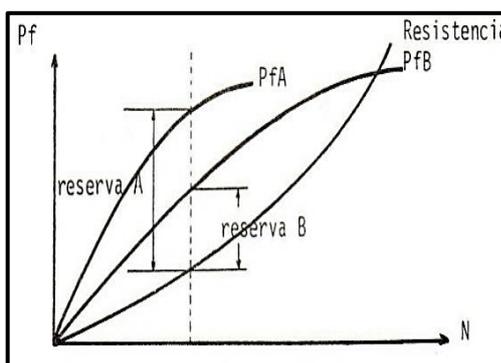


Figura 2.4: Reservas de Potencias

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

Puesto que en la realidad los motores requieren mezclas ligeramente ricas, es decir que la relación aire/combustible sea menor que la estequiométrica, para una combustión eficiente (completa), se encontrará que el máximo valor de potencia se desarrollará para este tipo de mezclas, es decir:

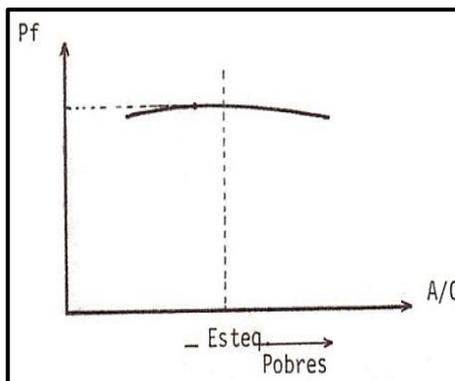


Figura 2.5: Valor Máximo de Potencia

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

Cuando se acelera al motor, la mariposa del carburador, se abre, dejando ingresar mayor cantidad de mezcla A/C, y aumentando por tanto el valor de potencia obtenida.

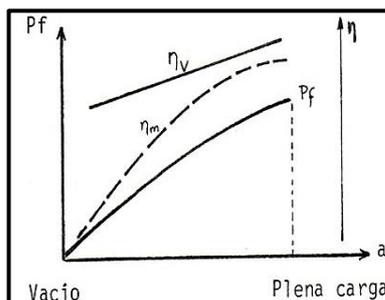


Figura 2.6: Potencia con la mariposa de aceleración parcialmente abierta

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

2.3.3 POTENCIA INDICADA (Pi)(KW)

La potencia total desarrollada sobre el émbolo del motor, se denomina potencia indicada. Es aquella que se obtiene en la corona del pistón y está dada por la energía disipada por la combustión de la mezcla en la cámara de combustión.

$$P_i = P_{MEI} * V_D \quad (\text{KW}) \quad \text{Ecuación 2.3}$$

La potencia indicada es mayor que la potencia al freno, pues no incluye las pérdidas producidas al mover los émbolos, válvulas y otras partes mecánicas del motor (CABRERA, 2012).

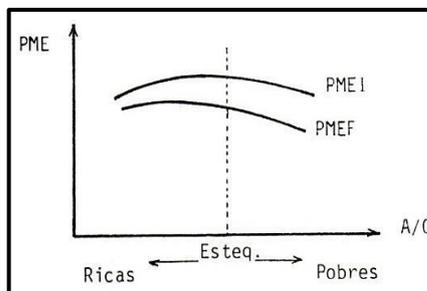


Figura 2.7: Presión Media Indicada y presión Media Efectiva

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

La potencia al freno indica en realidad si la potencia que nos ofrece un motor cumple con los requerimientos, mientras que la potencia indicada sirve más bien como una referencia teórica.

Si tomamos en cuenta la Figura 2.8 para la realización de un gráfico tridimensional, que relacione la PME I con el ángulo de avance al encendido (αA), para diferentes tipos de mezcla (CABRERA, 2012).

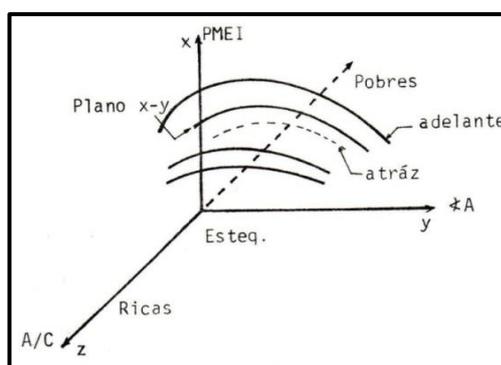


Figura 2.8: PME I & (αA) encendido, para diferentes tipos de mezcla.

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

Como se puede notar, se forma una serie de capas, que decrece hacia las mezclas pobres, mientras que crece hacia las mezclas ricas llegando a su máximo desempeño, para luego decrecer nuevamente pero con menor pendiente que en las mezclas pobres.

2.3.4 POTENCIA DE FRICCIÓN

Una parte de la potencia indicada desarrollada al quemarse el combustible y el aire no aparece como potencia al freno ya que se emplea en vencer la fricción en los cojinetes, émbolos y otras partes mecánicas del motor.

$$P_{fricción} = P_i - P_f \quad (\text{KW})$$

Ecuación 2.4

La potencia para realizar esas tareas se llama la potencia perdida en las fricciones o potencia de la fricción. La potencia al freno es menor que la indicada, en una cantidad igual a la potencia consumida en las fricciones del motor (CABRERA, 2012).

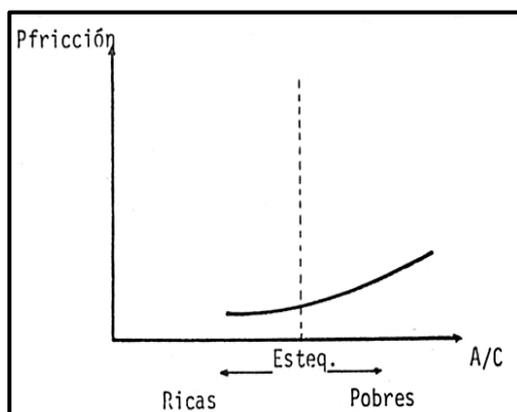


Figura 2.9: Variación de $P_{fricción}$

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

A medida que se aumenta la velocidad, se incrementan las pérdidas por fricción en un motor de combustión interna. Cuando estas pérdidas igualan a

la potencia indicada se produce el fenómeno llamado “embalamiento” que se observa a continuación.

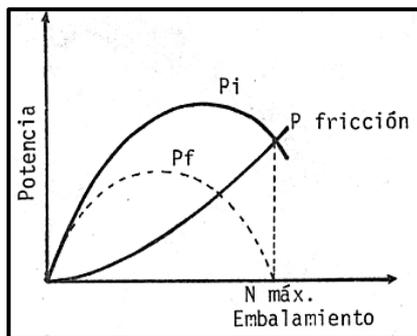


Figura 2.10: Embalamiento

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

2.3.5 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO

Es la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor para producir una potencia igual a la del freno.

$$PMEF = \frac{Pf}{V_D} \quad \left(\frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right) \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Dónde:

$$V_D = n\pi \frac{D^2}{4} \times L \times \frac{N}{60K_2} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

V_D = Consumo Volumetrico de Aire Teorico.

$K_2 = 1$ Si el motor es de 2 tiempos

$K_2 = 2$ Si el motor es de 4 tiempos

Mientras más grande sea la presión media efectiva, más grande será el trabajo por cm^3 desplazado del motor. Como se dijo antes, mezclas aire-

combustible ligeramente ricas, proporcionan mayor presión media efectiva al freno (CABRERA, 2012).

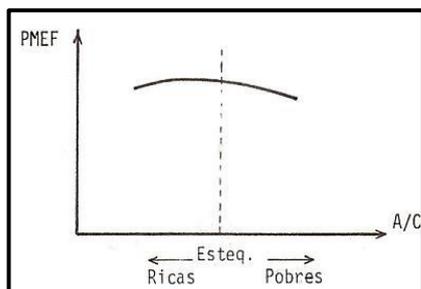


Figura 2.11: Presión Media Efectiva al freno Vs variación de mezcla

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

La presión media efectiva, constituye un factor que debe ser tomado muy en cuenta en la selección de motores. Así por ejemplo si se dispone de 2 motores que proporcionen igual trabajo, el motor de PME más alta será de menor tamaño, y tendrá por tanto mayor rendimiento mecánico.

Un ángulo de avance al encendido óptimo se consigue, cuando la PME sea máxima, y este se aleja más del punto muerto superior (PMS), esto es que se “adelanta” cada vez más, conforme se aumenta la velocidad.

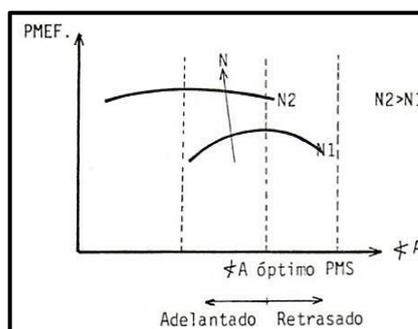


Figura 2.12: Adelanto y retraso mediante la PMEF

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

Cuando se aumenta la relación de compresión (r_c), se aumenta el trabajo por cm^3 pero llega un máximo a partir del cual, las pérdidas mecánicas serán cada vez mayores haciendo que la PME disminuya (CABRERA, 2012).

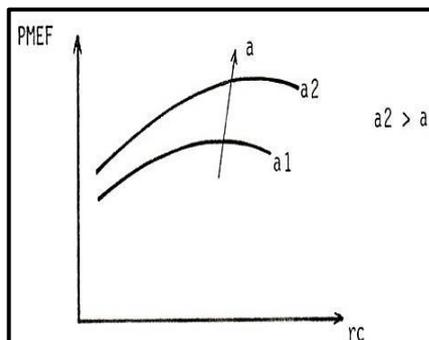


Figura 2.13: Relación de compresión vs PMEF

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

2.3.6 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA

Está definida como la altura del rectángulo de área equivalente a la del diagrama indicador y de la longitud igual a la carrera del pistón. Físicamente indica la presión teórica constante que supuestamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor para producir una potencia igual a la indicada (CABRERA, 2012).

$$PMEI = \frac{\text{Área del Diagrama}}{L} \quad \left(\frac{\text{KN}}{\text{m}^2}\right) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$h = PMEI = \frac{\text{Área}}{L} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

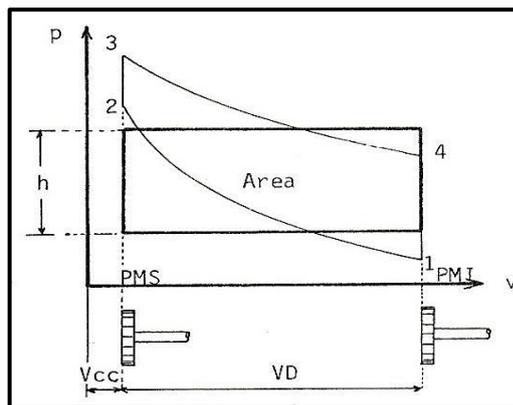


Figura 2.14: Diagrama de trabajo

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

2.3.7 TORQUE (T_q)(Nm)

Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor desde su eje principal, hasta el diferencial del vehículo.

$$T_q = f \times d \quad (\text{Nm})$$

Ecuación 2.9

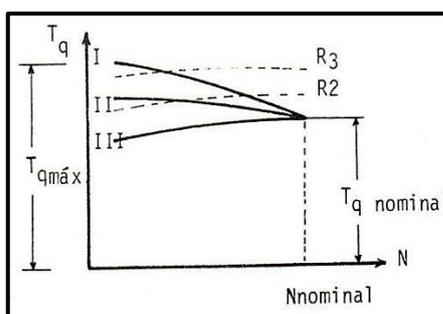


Figura 2.15: Variación de torque para diferentes exigencias

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

El torque es uno de los parámetros más importantes para la selección de un motor, Figura 2.15, en donde se grafica los requerimientos en el torque,

para diferentes exigencias (condiciones del camino, viento, peso del vehículo, etc.).

Es importante, conocer los diferentes comportamientos que presenta el torque, con otros parámetros del desempeño de un motor.

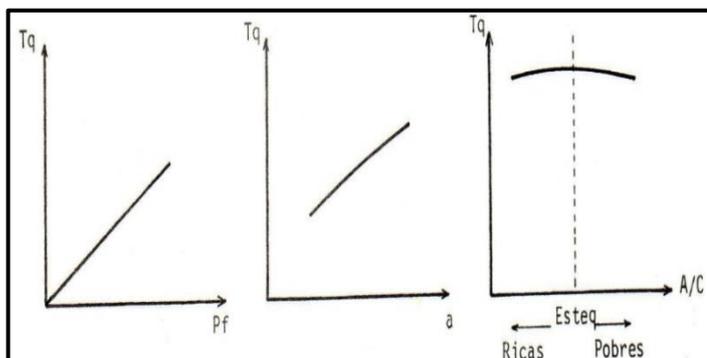


Figura 2.16: Comportamientos del torque, con otros parámetros

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE 1990 Quito Ecuador.

Así también el torque es la fuerza que se aplica al pistón y este a su vez la transfiere a la biela para finalmente llegar al codo del cigüeñal para hacerlo girar produciéndose de esta manera un esfuerzo rotatorio o de giro.

En los motores de combustión interna el torque no se obtiene al máximo régimen de giro, sino al contrario debido a que la mayor presión dentro del cilindro se consigue con un mejor llenado del mismo, aumentando de esta manera el par motor o torque. El torque por el régimen de giro da la potencia del motor.

De esta manera la potencia efectiva es generada por el par motor y se conoce también como potencia al freno, ya que se mide con un dispositivo frenante que aplicado al eje del motor se opone al par motor permitiendo medir su valor.

Por lo que podemos decir que el par motor representa la capacidad del motor para producir trabajo, mientras que la potencia efectiva es la medida

de la capacidad de trabajo realizado por el motor en un determinado tiempo (CABRERA, 2012).

2.3.8 CONSUMO DE COMBUSTIBLE (m_c)

Este parámetro, determinado experimentalmente indica la “rapidez de consumo” de un motor.

$$m_c = V_c \times \rho_c \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{s}}\right) \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Dónde:

$$V_c = \frac{V_{prueba}}{t} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$\rho_c = \text{Densidad del combustible}$

Su determinación se realiza como se observa en la expresión (2.10) midiendo el tiempo que tarda el motor en consumir un volumen de combustible de prueba.

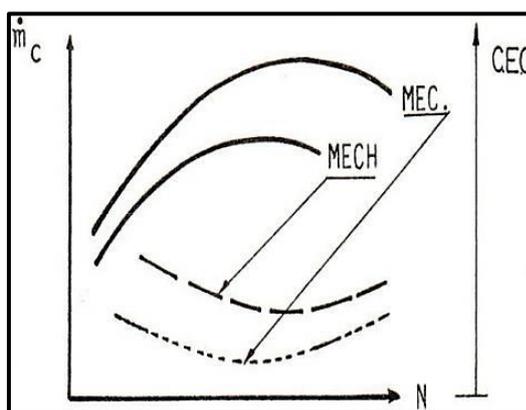


Figura 2.17: Consumo de Combustible

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

A medida que aumenta la velocidad de rotación del motor, la cantidad de ciclos o carreras de admisión de carga fresca en la unidad de tiempo es mayor, aumentando por tanto el consumo de combustible; sin embargo cuando se eleva demasiado la velocidad, el tiempo para la admisión disminuye demasiado y disminuye la cantidad de mezcla fresca que ingresa al cilindro.

Cuando se trata de motores diésel, la carga fresca contiene una cantidad de aire que no varía con la velocidad, mientras que la cantidad de combustible aumenta significativamente.

2.3.9 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE

Es un parámetro comparativo que muestra con cuanta eficiencia convierte un motor el combustible entregado.

Puede ser al freno o indicado, según el valor de potencia que se escoja:

$$\text{Al freno: } CECF = \frac{m_c}{P_f} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{KW-h}} \right) \quad \text{Ecuación 2.12}$$

$$\text{Indicada: } CECI = \frac{m_c}{P_i} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{KW-h}} \right) \quad \text{Ecuación 2.13}$$

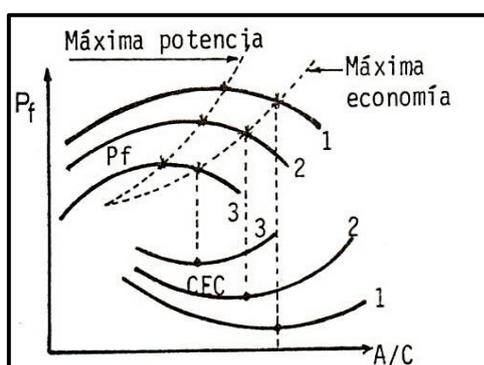


Figura 2.18: Máxima potencia y Consumo de Combustible

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador

El CEC es uno de los parámetros más importantes en el estudio de un motor, nos indicará, lo “económico” que es el motor bajo consideración. Idealmente interesaría determinar el punto en el que se tuviese máxima potencia con mínimo consumo específico de combustible, pero esto no ocurre en la realidad por lo que se puede sacrificar el factor económico para obtener mayor potencia, o viceversa.

Así también se muestra que el CEC disminuye con N , lo cual se debe a que el aumento de la potencia con la velocidad es mayor que el del consumo de combustible, para luego nuevamente aumentar, ya que el aumento anterior, es menor que del consumo.

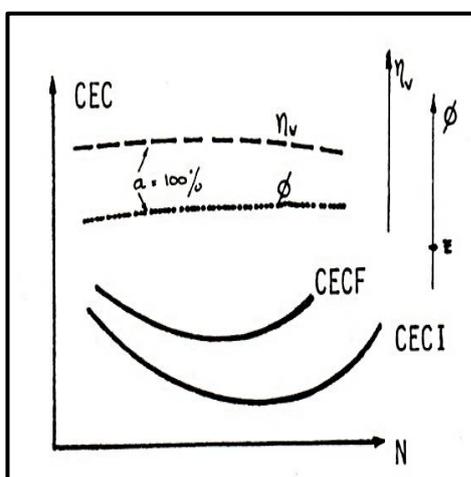


Figura 2.19: El CEC disminuye con N

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador

Por otro lado, el mínimo CEC se obtendrá como es lógico para mezclas pobres, pero si se empobrece demasiado la mezcla, se afectará significativamente a parámetros importantes como la potencia y la PMEF y la operación del motor se vuelve inestable.

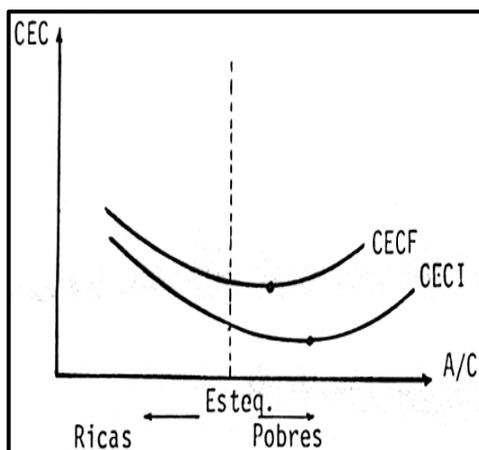


Figura 2.20: Consumo de Combustible

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

2.3.10 CONSUMO DE AIRE (\dot{m}_a)

Masa de aire que ingresa como parte de la carga fresca, y que es requerida para una eficiente combustión del combustible.

$$\dot{m}_a = \frac{\pi D^2}{4} C \sqrt{\frac{2C_1 h_0 P_a}{R_a T_a}} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Dónde:

D = Diámetro del ingreso de aire al medidor de placa – orificio

C_1 = Constante referida al fluido del manómetro $(9.81 \frac{\text{N}}{\text{mmH}_2\text{O}})$

h_0 = Altura del manómetro

P_a = Presión Atmosférica

R_a = Constante universal de los gases $(\frac{287 \text{ Nm}}{\text{Kg}^\circ\text{K}})$

T_a = Temperatura del Aire

C = Coeficiente de descarga (0,62)

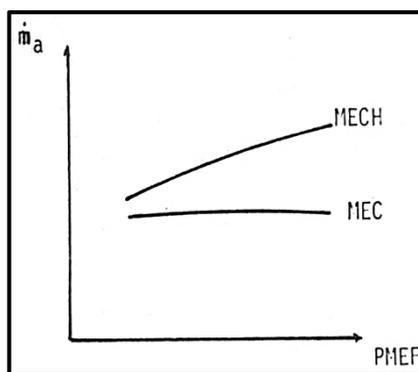


Figura 2.21: Consumo de Aire de acuerdo al tipo de motor.

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

En motores de encendido por chispa (MECH) la cantidad de aire aumenta conforme se abre la mariposa del carburador, al acelerar, mientras que en motores de encendido por compresión (MEC) se mantiene aproximadamente constante (CABRERA, 2012).

2.3.11 RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE ($\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}$)

Está dada como la relación entre la cantidad de aire utilizado en la combustión y la cantidad de combustible quemado. Cuando en los productos 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.

$$A/C_{teórico} = \frac{\text{Peso del Aire Real}}{\text{Peso Combustible}} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Un carburador permite variar y controlar la relación aire/combustible. En el motor (ECH) 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 (EC), no se requiere esa relación fija de aire-combustible, porque éste se inyecta en el seno de un aire extremadamente caliente, incendiándose en cualquier punto en el cual se forme la mezcla aire/combustible apropiada.

En la producción máxima del motor diésel, la mayor parte del aire se emplea en la reacción química; en tanto que en las cargas parciales es necesario combinar tan sólo una fracción del aire con el combustible y por la combustión localizada, el proceso de admisión de aire no requiere estrangulamiento en ningún caso (CABRERA, 2012).

2.3.12 EFICIENCIA MECÁNICA (η_m)

A la relación entre la potencia producida por el motor P_f , y la potencia total desarrollada dentro de él P_i se conoce como rendimiento mecánico.

$$\eta_m = \frac{P_f}{P_i} \quad (\%) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Cuando se aumenta la velocidad, como se observó en la figura, las pérdidas por fricción aumentan y por tanto el rendimiento mecánico decrece. En el punto de embalamiento se tiene rendimiento cero, pues no existe potencia al freno (CABRERA, 2012).

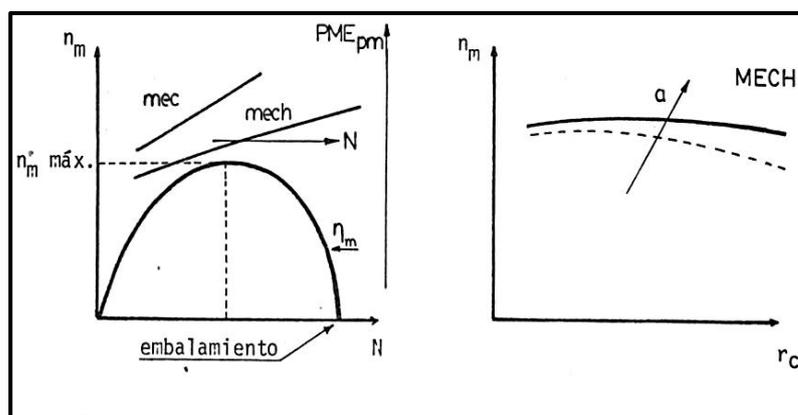


Figura 2.22: Variación del (η_m) vs (r_c)

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

Por otro lado, cuando se aumenta la relación de compresión (r_c), se incrementan las pérdidas por fricción, pues un aumento en la (r_c) involucra un aumento en el tamaño y por tanto en el peso de los componentes del motor.

2.3.13 RENDIMIENTO TÉRMICO (η_t)

En termodinámica se define el rendimiento térmico para un ciclo con objeto de mostrar el rendimiento de la conversión de calor en trabajo. De igual manera, la eficiencia térmica de un motor indica, el grado de aprovechamiento del poder calórico del combustible, al desarrollar una unidad de potencia. Puede ser el freno o indicada si se toma la potencia del freno o indicada respectivamente.

$$\text{Al freno: } \eta_t = \frac{P_f}{\dot{m}_c Q_{NETO}} = \frac{1}{CECF.Q_{NETO}} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$\text{Indicada: } \eta_t = \frac{P_i}{\dot{m}_c Q_{NETO}} = \frac{1}{CECI.Q_{NETO}} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Las ecuaciones (2.17 y 2.18) muestran que el rendimiento térmico calculado para el motor de combustión dependerá de los valores que se le asignen al calor de combustión.

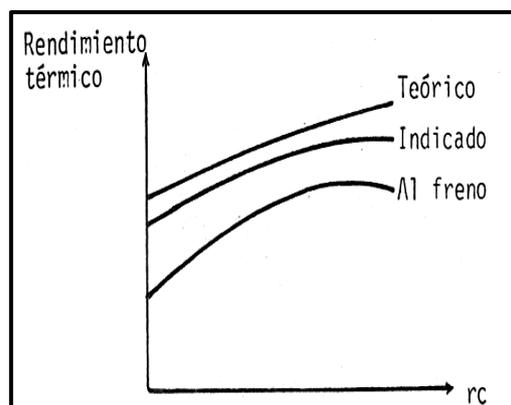


Figura 2.23: Rendimiento Térmico vs Relación de Compresión

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

El poder calórico inferior a volumen constante representa la cantidad máxima de calor, que puede transferirse en un calorímetro bajo condiciones estándar y es el valor que debería usarse en el cálculo del rendimiento.

El calor que se puede obtener al condensarse el agua formada en la combustión es prácticamente inaccesible porque los gases del escape se descargan invariablemente a altas temperaturas. Por esta razón los cálculos inferiores del poder calórico del combustible (e invariablemente para los combustibles gaseosos). En la figura 2.23 Se muestra la variación del rendimiento térmico para diferentes relaciones de compresión (CABRERA, 2012).

Puesto que el rendimiento térmico depende de la mayor o menor eficiencia de la combustión, que nos indica el aprovechamiento del poder calórico del combustible una mezcla ligeramente pobre (exceso de aire) asegurarán las condiciones de mayor rendimiento térmico.

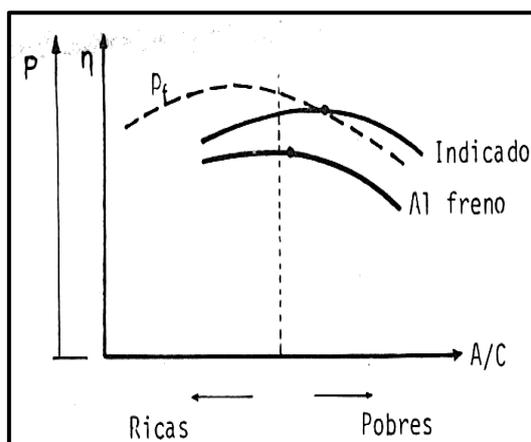


Figura 2.24: Rendimiento Térmico vs Relación A/C

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador.

2.3.14 RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO (η_v)

Está definida como la relación del peso real de aire inducido por el motor, en la carrera de admisión entre el peso teórico de aire que debiera inducirse

llenando el volumen de desplazamiento del émbolo con aire a la temperatura y presión atmosférica.

$$\eta_v = \frac{\text{Consumo de Aire Real}}{\text{Consumo de Aire Teórico}} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Asumiendo densidad constante:

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_D} = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_D}$$

Dónde:

$\dot{V}_a =$ Consumo Volumetrico de Aire Real

$$\dot{V}_a = \frac{\text{Consumo Másico de Aire}}{\text{Densidad del Aire}} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

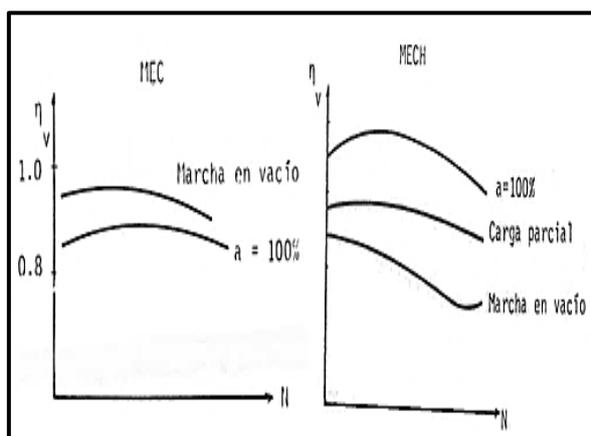


Figura 2.25: La eficiencia volumétrica en función de la velocidad

Fuente: Parámetros de Desempeño de Motores de Combustión Interna, Ing. Guillermo Cabrera. ESPE Versión Actualizada 2012 Quito Ecuador

La rendimiento volumétrico es un factor preponderante en el proceso de ADMISIÓN, pues permite analizar la capacidad del motor para admitir carga fresca; y nos indica la bondad del diseño del sistema de admisión sobre ella influyen varios factores como son la presión del cilindro, temperatura en el

cilindro, velocidad, aceleración, masa de gases residuales, relación de compresión y otros.

Asumiendo que la temperatura dentro del cilindro (T_c) es igual a la atmosférica (T_a), la presión dentro del cilindro (P_c) influye sobre el rendimiento volumétrico (η_v) de la siguiente forma:

$$\eta_v = \frac{p_c}{p_a} \quad \text{con} \quad \frac{p_c}{p_a} < 1$$

Si ahora se considera que tanto la presión y la temperatura dentro del cilindro son diferentes a las atmosféricas, se tiene que:

$$\eta_v = \frac{p_c T_a}{p_a T_c} \quad \text{con} \quad \frac{T_a}{T_c} < 1$$

La eficiencia volumétrica en función de la velocidad, para diferentes aceleraciones, se muestran en la figura 2.24, tanto para motores de encendido por chispa como por compresión (CABRERA, 2012).

2.4 BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TecQuipment TD II4

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó un Banco Dinamométrico hidráulico propiedad del laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE matriz ubicada en sangolqui.



Figura 2.26: Banco Dinamométrico Hidráulico.

Fuente: Los Autores

Este Banco se utiliza para realizar pruebas en motores de dos y cuatro tiempos mono cilíndricos con una cilindrada no superior a 100 centímetros cúbicos.

Para su funcionamiento necesita una fuente de energía de 110 Voltios para los circuitos eléctricos que poseen los medidores y una toma de agua, este líquido es el encargado de generar el freno y estabilizar el giro del motor a las revoluciones deseadas para medir el torque del motor.

Ciertos parámetros y características, definen la aptitud del motor para funcionar en diversas condiciones y régimen de giro, permiten además realizar la comparación utilizando varios combustibles, en este caso se utiliza gasolina vs biogás como carburante de prueba.

Sin embargo los datos completos que caracterizan el desempeño del motor a régimen variable, implican ciertas dificultades en su obtención, razón por la cual dichas características se determinan durante las pruebas del motor.

La prueba que se realiza en este banco es:

Prueba de Variación de la velocidad y se dividen en:

- a) A plena carga (aceleración), entre cuyos objetivos se trata de determinar la potencia máxima (P_{fmax}) y el consumo específico de combustible (CEC) mínimo, a cada velocidad (N).
- b) Pruebas con cargas parciales (aceleración parcial) para determinar principalmente las variaciones del consumo específico de combustible).

Para efectuar una prueba a plena carga (potencia máxima) en un motor a gasolina, se acelera totalmente manteniendo la velocidad en el valor deseado por regulación del freno o carga externa; se ajusta la chispa para asegurar máxima potencia a esa velocidad y luego establecido el equilibrio térmico se procede a tomar los datos respectivos. Se repite la prueba para cada valor de velocidad deseado, graficando luego los resultados.

- a) A la potencia al freno máxima le corresponde una velocidad superior a la del torque al freno máximo, de la máxima eficiencia y del CEC mínimo.
- b) En un intervalo considerable, el CEC y la eficiencia térmica varían poco, característica que es conveniente; pero a altas velocidades el consumo mencionado aumenta rápidamente. Por tanto, la potencia necesaria para impulsar el coche a altas velocidades aumenta rápidamente, aproximadamente con el cubo de la velocidad y baja el rendimiento del motor.

2.4.1 EQUIPO UTILIZADO

BANCO DE PRUEBAS: TecQuipment TD II4

MOTOR:

MARCA: LUTOOL OHV

DIÁMETRO: 54 mm

CARRERA: 38 mm

r_c : 7.8:1

2.4.2 PROCEDIMIENTO BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TecQuipment TD II4

- a) El montaje y acoplamiento del motor en el banco dinamométrico hidráulico es a través de una junta la cual une el eje del motor al eje del dinamómetro hidráulico.



Figura 2.27: Unión entre el eje del motor y el eje del dinamómetro

Fuente: Los Autores

- b) Verifique la preparación global de todo el conjunto, la cual consiste en calibrar el Banco Dinamométrico de tal forma que al momento que se aplica un peso de 3.5 Kg el medidor de torque marque 8.5 Nm y al momento de retirar el peso, marque 0 Nm.



Figura 2.28: Calibración del dinamómetro

Fuente: Los Autores

- c) Chequee el medidor de temperatura, torque, ingreso de aire y el tacómetro de manera que estén totalmente encerados, estos medidores se encuentran en el panel de control del Banco dinamométrico Hidráulico.

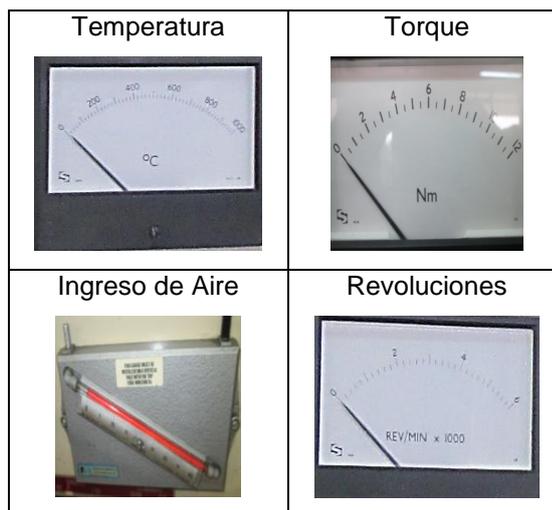


Figura 2.29: Medidores Encerados

Fuente: Los Autores

- d) Esperar que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento.
- e) El estrangulador totalmente abierto, pues estas pruebas se realizan con aceleración constante, en este caso como el generador tiene aceleración automática se desconectó el resorte de aceleración y se sujetó a un tornillo con la posición del estrangulador de ingreso de aire totalmente abierto para que no haya variación de aceleración y poder tomar valores de prueba correctos.
- f) Mediante el freno hidráulico se ubica cada una de los regímenes de giro del eje del motor y posteriormente se toma los datos de prueba.
- g) Ajustar las revoluciones de giro del motor, a 3600 rpm puesto que éste es el régimen de giro a la que el fabricante de motor expresa los datos técnicos y la final es a 1400 rpm a razón que si se aplica más carga hidráulica el motor tiende a apagarse, así pues los valores de prueba se tomaron con un intervalo de 200 rpm, en cada prueba se registran cinco parámetros, como son: revoluciones de giro del motor, torque, consumo de combustible, ingreso de aire y temperatura de los gases de escape.

- h) Durante las pruebas se tiene especial cuidado en no llegar a valores límites de velocidad, temperatura y controlar el aceite de lubricación, para evitar un sobre calentamiento del motor.

2.4.3 COMPONENTES DEL BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TecQuipment TD II4

Los componentes del Banco Dinamométrico Hidráulico TecQuipment TD II4 en el que se realizó las pruebas del motor con los dos combustibles (gasolina - biogás) se presenta a continuación.

2.4.3.1 VARIADOR DEL RÉGIMEN DE ROTACIÓN DEL MOTOR

Para la obtención del torque a diferentes revoluciones se tiene que aplicar la carga hidráulica cabe recalcar que la variación hidráulica se la realiza mediante una perilla de regulación, la cual permite el ingreso de agua al interior del tambor y así generar el freno al giro del motor.

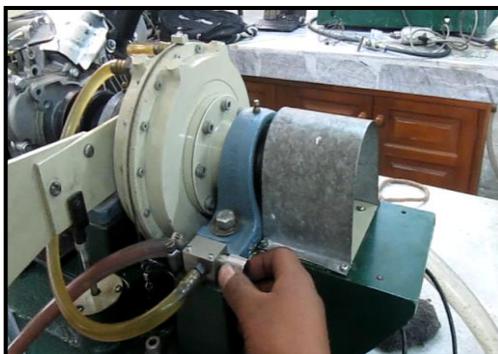


Figura 2.30: Variación de la Carga Hidráulica

Fuente: Los Autores

Una vez abierta la perilla de carga hidráulica se tiene que esperar 5 minutos tiempo hasta que se estabilice el funcionamiento del motor y poder tomar el valor correcto de rpm y torque que marca el medidor, para el posterior cálculo de la potencia desarrollada por el motor a determinada rotación del eje motor.

2.4.3.2 MEDIDOR DE TORQUE

Al momento que se gira la perilla, ésta permite el paso del agua para activar el freno hidráulico y una vez ya estabilizado el funcionamiento del motor a las revoluciones de giro determinadas y observando detenidamente que el tacómetro del panel este lo más estable posible y no haya variación, se procede a tomar el valor que marca el medidor de torque como también el del resto de los medidores.

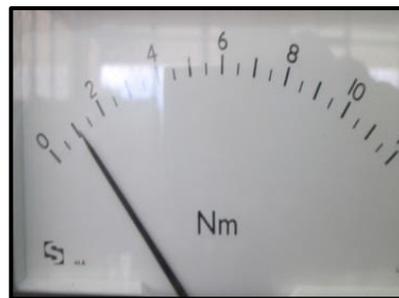


Figura 2.31: Medidor de Torque

Fuente: Los Autores

2.4.3.3 MEDIDOR DE REVOLUCIONES POR MINUTO A LAS QUE GIRA EL EJE DEL MOTOR

El tacómetro que está ubicado en el panel del banco dinamométrico es analógico y tiene un rango de medición de (0 - 6000 rpm), así pues las revoluciones de giro del motor varían al aplicar la carga hidráulica de esta manera el valor de revoluciones de giro se puede observar en el tacómetro del panel de control del banco dinamométrico, en este caso la variación de las revoluciones a las que gira el motor está en el rango de (3600 a 1400 rpm) con un intervalo de 200 rpm.

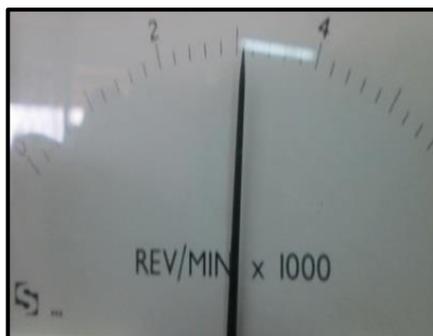


Figura 2.32: Tacómetro del Banco Dinamométrico

Fuente: Los Autores

2.4.3.4 MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Para medir el consumo de combustible primero se tiene que llenar de combustible la probeta que va ubicada en el panel de control y hay que cerrar la llave de paso que está instalada en la salida del depósito, y de esta manera se consuma el combustible contenido en la probeta tomando el tiempo que se tarda en consumir de acuerdo a cada una de los valores de revoluciones a las que gira el motor.



Figura 2.33: Llave de Paso y Depósito de Combustible

Fuente: Los Autores

En el consumo de combustible se utiliza una probeta de 16 ml que está instalada en el panel de control, la misma que tiene conexión con el depósito de combustible como también al ingreso del carburador para alimentar el motor.



Figura 2.34: Elementos para Medir el Consumo de Combustible



Figura 2.35: Probeta de Consumo de combustible de 16 mililitros

Fuente: Los Autores

Una vez que se consume el combustible de la probeta se procede a abrir la llave de paso de combustible del depósito y de esta manera por vasos comunicantes se llena otra vez la probeta para poder tomar otro dato a la siguientes revoluciones que gire el motor, este procedimiento se realiza durante toda la toma de valores en el Banco Dinamométrico Hidráulico.

2.4.3.5 MEDIDOR DE INGRESO DE AIRE

Para medir el consumo de aire, éste ingresa al tanque de medidor de vacío de placa – orificio, que tiene un diámetro de entrada de 13.5 mm, posteriormente el aire que ingresa al tanque es aspirado por el vacío que genera el motor mediante un conducto que está instalado entre el tanque y la entrada de aire del carburador.



Figura 2.36: Tanque y tubo conectado al motor para medir el ingreso de aire

Fuente: Los Autores

El medidor de vacío que está instalado en el panel de control, probeta que contiene aceite hidráulico, la misma, que está a la vez en contacto con el depósito de medidor de placa – orificio, la lectura del medidor está en unidades de carga “mmH₂O”, la lectura varía de acuerdo a las diferentes revoluciones a las que está girando el motor.



Figura 2.37: Medidor de ingreso de aire en mm H₂O

Fuente: Los Autores

2.4.3.6 MEDIDOR DE TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE

El valor de la temperatura de los gases de escape está en grados Celsius y se obtiene utilizando una termocupla que varía de (0 – 1000 °C), la cual va instalada en el tubo de escape.

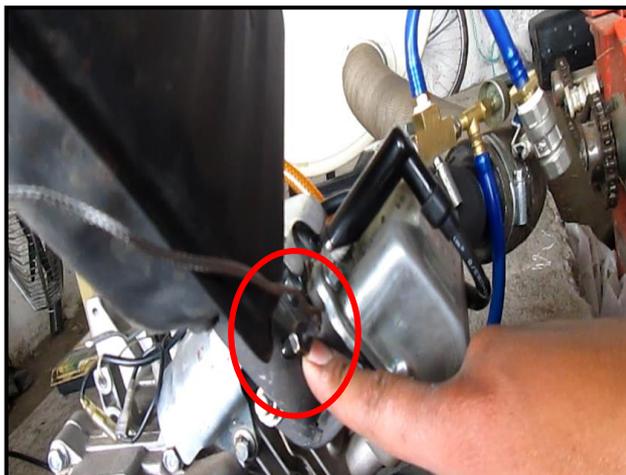


Figura 2.38: Termocupla instalada en el tubo de escape

Fuente: Los Autores

Esta termocupla tiene conexión al medidor de temperatura que está en el panel del Banco Dinamométrico Hidráulico mediante un circuito eléctrico. Para tomar el valor correcto de temperatura a la que salen los gases de escape hay que establecer las revoluciones de giro del motor y esperar 5 minutos para que el valor tomado sea el correcto.

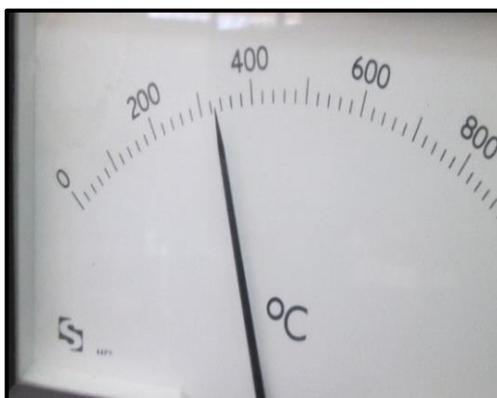


Figura 2.39: Medidor de temperatura de la salida de los gases de escape

Fuente: Los Autores

2.5 ANÁLISIS DE EMISIONES DE ESCAPE EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Del proceso de combustión del motor se obtienen gases residuales y productos, entre ellos los más importantes son el CO (monóxido de carbono), el CO₂ (dióxido de carbono), el O₂ (Oxígeno, Hidrocarburos no quemados (HC), Nitrógeno, Agua y bajo ciertas condiciones NO_x (óxidos de Nitrógeno).

Un correcto análisis de las proporciones de los gases puede dar lugar a diagnósticos muy importantes del funcionamiento del motor. El analizador de gases de escape examina la química de estos gases y nos dice en que proporciones se encuentran los mismos. Todos estos productos se obtienen a partir del aire y del combustible que ingresa al motor, el aire tiene un 80 % de Nitrógeno y un 20 % de Oxígeno (aproximadamente).

Podemos entonces escribir lo siguiente:

$$\text{AIRE} + \text{COMBUSTIBLE} = \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{HC} + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{NO}_x \text{ (bajo carga)} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

Una combustión completa, donde el combustible y el oxígeno se queman por completo solo produce CO₂ (dióxido de carbono) y H₂O (agua). Este proceso de combustión completa no se efectúa en su totalidad por lo que surge el CO (monóxido de carbono) y consiguientemente aparece O₂ (Oxígeno) y HC (Hidrocarburos), tengamos en cuenta que la aparición de los mismos es porque al no completarse la combustión "siempre queda algo sin quemar."

Los valores normales que se obtienen a partir de la lectura de un analizador de gases conectado a un motor son los siguientes:

$$\text{CO} < 2\% \quad \text{O}_2 < 2\% \quad \text{Ecuación 2.22}$$

$$\text{CO}_2 > 12\% \quad \text{HC} < 400 \quad \text{Ecuación 2.23}$$

El nitrógeno normalmente así como entra en el motor, sale del mismo y en la medida que el motor no esté bajo una carga importante no forma Óxidos de Nitrógeno.

2.5.1 CO (MONÓXIDO DE CARBONO)

El Monóxido es resultado del proceso de combustión y se forma siempre que la combustión es incompleta, es un gas tóxico, inoloro e incoloro. Valores altos del CO, indican una mezcla rica o una combustión incompleta. Normalmente el valor correcto está comprendido entre 0,5 y 2 %, siendo la unidad de medida el porcentaje en volumen.

2.5.2 CO₂ (DIÓXIDO DE CARBONO)

El dióxido de Carbono es también resultado del proceso de combustión, no es tóxico a bajos niveles, es el gas de la soda, el anhídrido carbónico. El motor funciona correctamente cuando el CO₂ está a su nivel más alto, este valor porcentual se ubica entre el 12 al 15 %. Es un excelente indicador de la eficiencia de la combustión.

Como regla general, lecturas bajas son indicativas de un proceso de combustión malo, que representa una mala mezcla o un encendido defectuoso.

2.5.3 HC (HIDROCARBUROS NO QUEMADOS)

Este compuesto representa los hidrocarburos que salen del motor sin quemar. La unidad de medida es el ppm, partes por millón de partes, recordemos que el porcentaje representa partes por cien partes y el ppm, partes por millón de partes. La conversión sería 1%=10000 ppm. Se utiliza el ppm, porque la concentración de HC en el gas de escape es muy pequeña.

Una indicación alta de HC indica:

- Mezcla rica, el CO también da un valor alto.
- Mala combustión de mezcla pobre.
- Escape o aceite contaminado.
- El valor normal está comprendido entre 100 y 400 ppm.

2.5.4 O₂ (OXIGENO)

Este compuesto es el oxígeno del aire que sobra del proceso de combustión. Un valor alto de Oxígeno puede deberse a mezcla pobre, combustiones que no se producen o un escape roto. Un valor de 0% significa que se ha agotado todo el oxígeno, si el CO es alto es indicativo de un mezcla rica. Normalmente el Oxígeno debe ubicarse debajo del 2 %.

2.5.5 NO_x (ÓXIDOS DE NITRÓGENO)

Los óxidos de Nitrógeno se simbolizan genéricamente como NO_x, siendo la "x" el coeficiente correspondiente a la cantidad de átomos de Nitrógeno, puede ser 1, 2,3 etc. Estos óxidos son perjudiciales para los seres vivos y su emisión en muchos lugares del mundo se encuentra reglamentada. Los óxidos de Nitrógeno surgen de la combinación entre sí del oxígeno y el nitrógeno del aire, y se forman a altas temperaturas y bajo presión. Este fenómeno se lleva a cabo cuando el motor se encuentra bajo carga, y con el objetivo de disminuir dicha emisión de gases, los motores incorporan el sistema EGR (recirculación de gas de escape).

2.5.6 RELACIÓN LAMBDA (Λ)

Se define a la relación Lambda como $Rel. \text{Lambda} = R. \text{Real} / 14.7$. Siendo (R. Real) la relación en peso aire- combustible real que tiene el motor en ese momento. La relación ideal aire/combustible es de 14.7 gr. de aire y 1 gr. de nafta.

$$Rel. \text{Lambda} = \frac{R. \text{Real}}{14.7} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

Supongamos que el motor está funcionando con una mezcla un poco rica, por ejemplo con una relación 13.8:1, entonces la relación lambda será:

$$R. \text{Lambda} = \frac{13.8}{14.7} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

Se observa que este valor será igual a 0.9. En resumen una relación lambda menor que 1, significa que la mezcla aire/combustible se está produciendo en una condición de riqueza. Una relación lambda mayor que 1,

significa que la relación aire combustible se está efectuando en una condición de pobreza (Augeri, 2011).

2.6 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002 con fecha 01. Agosto del 2012 con Registro Oficial No. 673 de 2002-09-30 y en vigencia, la que hace referencia a “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres De Gasolina”. Esta norma establece los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina.

Tabla 2.6: Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles
Con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí.

Año Modelo	% CO *		Ppm HC *	
	0-1500**	1500-3000**	0-1500**	1500-3000**
2000 Y POSTERIORES	1,0	1,0	200	200
1990-1999	3,5	4,5	650	750
MENOR A 1989	5,5	6,5	1000	1200

* Volumen
**Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización

2.6.1 PARÁMETROS PERMITIDOS POR LA CORPAIRE PARA EL CONTROL DE GASES EN LOS VEHÍCULOS

La Corporación para el Mejoramiento del Aire CORPAIRE, ha establecido los umbrales máximos permitidos en emisiones de gases de acuerdo al año y tipo de vehículo.

Tabla 2.7: Valores de Umbrales de Emisiones.

VALORES MÁXIMOS (UMBRAL TIPO III) DE EMISIONES Y VEHÍCULOS A GASOLINA(RTV 2009)			
PRUEBAS EN VACIO EN ALTAS Y BAJAS REVOLUCIONES			
AÑO MODELO	CO(% V) Monóxido de carbono	HC (ppm) hidrocarburos	O₂(% V) OXÍGENO
2000 Y POSTERIORES	1	200	5
1990-1999	4.5	750	5
MENOR A 1989	7	1300	5

VALORES MÁXIMOS (UMBRAL TIPO III) DE EMISIONES Y MOTOCICLETAS 2Y 4 TIEMPOS (RTV 2009)			
PRUEBAS EN VACIO A BAJAS REVOLUCIONES-RALENTI			
AÑO MODELO	CO(% V) Monóxido de carbono	HC (ppm) hidrocarburos	O₂(% V) OXÍGENO
TODAS POSTERIORES	8	6000	5
1990-1999	4.5	750	5

VALORES MÁXIMOS (UMBRAL TIPO III) DE OPACIDAD DE VEHÍCULOS A DIESEL (RTV 2009)	
PRUEBAS EN ACELERACION LIBRE	
AÑO MODELO	% DE OPACIDAD
2000 Y POSTERIORES	8
1999 Y ANTERIORES	4.5

Fuente: CORPIARE

Para este fin se utiliza un analizador de emisiones, este equipo es capaz de medir, generalmente en porcentaje, determinados compuestos químicos contenidos en la masa de los productos, gaseosos o no, emitidos por el

escape de un motor de combustión interna. El analizador puede ser de lectura directa o estar acoplado a un registrador, magnético o de otro tipo. La necesidad de analizar los gases de escape de los motores de combustión interna deriva del hecho que, sobre todo en los motores alternativos, la combustión de los hidrocarburos nunca es perfecta, razón por la cual los gases de escape no son solamente dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2). La combustión real da lugar también a la formación de productos sin quemar y otros residuos. Puesto que en la combustión influyen varios factores, algunos de tipo mecánico y otros dependientes de las características del combustible, mediante el análisis de los gases es posible determinar el tipo de combustible y la influencia que sobre aquélla tienen los factores indicados (Motorgiga, 2014).

CAPÍTULO 3

3. SELECCIÓN Y MODIFICACIÓN DEL MOTOR - GENERADOR DE GASOLINA A BIOGAS

3.1 SELECCIÓN DEL MOTOR - GENERADOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Para la selección del motor-generator se tomó en cuenta varios parámetros tanto técnicos, económicos como también su accesibilidad, así también se realizó una matriz por puntos la cual se describe a continuación:

Tabla 3.1: Matriz de selección del motor-generator

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MOTORES GENERADORES						
MOTOR						
		PT S		PT S		PT S
MARCA	LUTOOL		PRETUL		LONCIN	
Costo en dólares	240	5	280	3	350	2
Modelo	LUTOOL pw 90	4	PRETUL GEN-8P	4	LC1600DC	4
Tipo de motor	OHV	4	OHV	4	OHV	4
Cilindrada	87 CC	3	389 CC	5	100 CC	4
Torque	3,98 Nm	3	3,2 Nm	2	4 Nm	4
Combustible	GASOLINA	4	GASOLINA	4	GASOLINA	4
Refrigeración	AIRE FORZADO	4	AIRE FORZADO	4	AIRE FORZADO	4
Aceite	15W40	5	15W40	5	15W40	5
Capacidad de aceite	0,4 Litros	4	0,4 litros	4	0.6 litros	5
Continua						

Capacidad del tanque de combustible	8 litros	5	3,5 litros	3	6 litros	4
Relación de Compresión	7,8:1	4	6,5:1	3	5,2:1	2
Diámetro x Carrera	54x38	4	50x36	3	50x35	2
Tiempo de trabajo continuo	6 HORAS	5	4 HORAS	3	4 HORAS	3
Sistema de Alimentación	CARBURADO R, POR GRAVEDAD, SIN BOMBA	5	CARBURADO R, POR GRAVEDAD, SIN BOMBA	5	CARBURADO R, POR GRAVEDAD, SIN BOMBA	5
Sistema de Encendido	TCI	5	TCI	5	TCI	5
Sistema de Arranque	MANUAL CON RETROCESO	4	MANUAL CON RETROCESO	4	MANUAL CON RETROCESO	4
Ruido de funcionamiento	7 m a 65 db	5	4m a 80 db	3	4m a 60 db	4
GENERADOR						
Frecuencia nominal (hz)	50-60 Hz	5	60 Hz	5	50 Hz	4
Regular de voltaje	condensador	5	condensador	5	condensador	5
Potencia de salida de ca (Watts)	1.0/1.1 KW	5	750/800 W	3	1000 W	4
Voltaje Nominal de ca (V)	110-240 V	5	120 V	3	220 V	4
Potencia De Trabajo	0.9/1.0 KW	5	750 W	4	500W	3
TOTAL		98		84		85

Elaboración: Los Autores

Realizada la matriz por puntos y analizados los resultados tanto cuantitativos como cualitativos finalmente se optó por adquirir el motor - generador marca LUTOOL la cual resulta con el puntaje más alto (98) de la matriz realizada.



Figura 3.1: Motor-generador LUTOOL

Fuente: Los Autores

3.1.1 SISTEMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR-GENERADOR LUTOOL

Sistema de Alimentación.- En los sistemas de alimentación por gravedad la gasolina circula por su propio peso desde el depósito al grifo de paso, cuando la palanca del grifo está en la posición abierta como se indica en la figura siguiente.

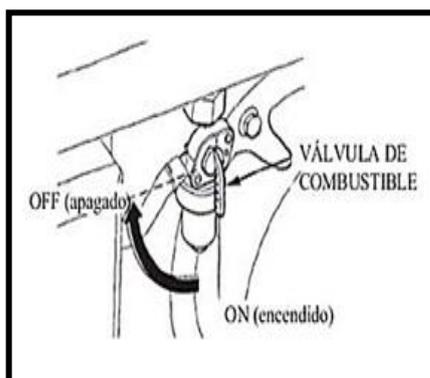


Figura 3.2: Válvula de Combustible

Fuente: <http://www.slideshare.net/Benzaenergia/manual-de-instrucciones-generator-benza-br-3000>

Del depósito sale una cañería con una llave de paso que mediante conductos pasa por el filtro de combustible y finalmente llega al carburador, este a su vez se sujeta mediante pernos al cuerpo del motor. La admisión de aire consta de un depurador con un filtro de aire el conducto se une al carburador donde se produce la mezcla e ingresa al cilindro.

La gasolina puede continuar su camino hacia el filtro en este caso el grifo es una combinación de grifo y filtro. Desde el filtro, la gasolina se dirige a través de un conducto a la cuba del carburador, en la cuba del carburador existe un flotador o boya, cuya misión es limitar la cantidad de combustible suministrado, evitando que esta sea excesiva. Sin la presencia del sistema de flotador, el combustible del depósito inundaría el carburador. El sistema de flotador está constituido por un pequeño flotador de plástico y una válvula de aguja accionada por el propio flotador (CROUSE, Última Edición).

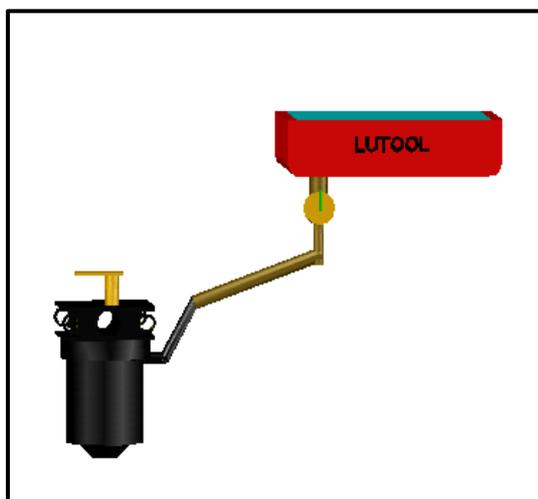


Figura 3.3: Alimentación de combustible

Elaboración: Los Autores

Cuando la gasolina precedente del depósito del motor-generador penetra en la cuba del carburador, el flotador hace. Al subir el flotador empuja contra su asiento a la válvula de aguja y cierra de este modo la entrada de gasolina cuando el empuje del combustible es el adecuado. Al consumirse gasolina, por el funcionamiento del motor, desciende el nivel de la cuba. A su

vez flotador y aguja descienden con lo que se da paso de nuevo a la entrada de gasolina en la cuba.

En funcionamiento la válvula de aguja se mantiene en una posición tal que la cantidad de gasolina que entra sea la misma que la que suministra el carburador al motor. De este modo el nivel de combustible en la cuba permanece prácticamente constante en la cuba (CROUSE, Última Edición).

Sistema Encendido y Arranque.- Para que el motor-generator se ponga en marcha el interruptor debe estar en la posición ON. Caso contrario no enciende.

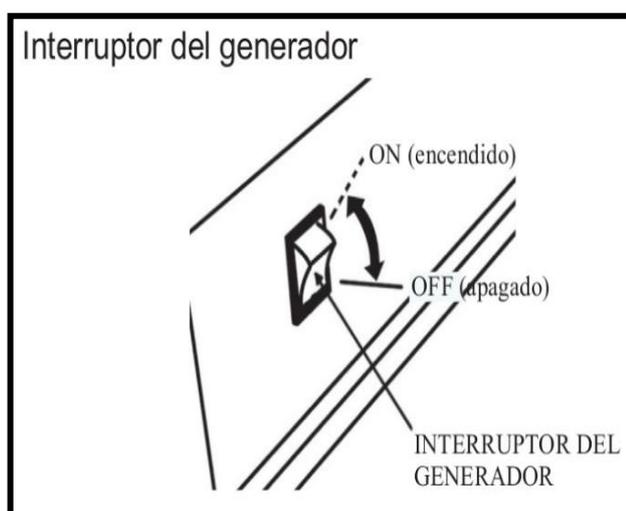


Figura 3.4: Interruptor del Motor-Generador

Fuente: <http://www.slideshare.net/Benzaenergia/manual-de-instrucciones-generator-benza-br-3000>

El sistema de encendido de este motor-generator es del tipo TCI (Encendido Controlado por Transistor) este sistema de encendido es sumamente confiable y eficaz (NOSSOVITCH, 2010).

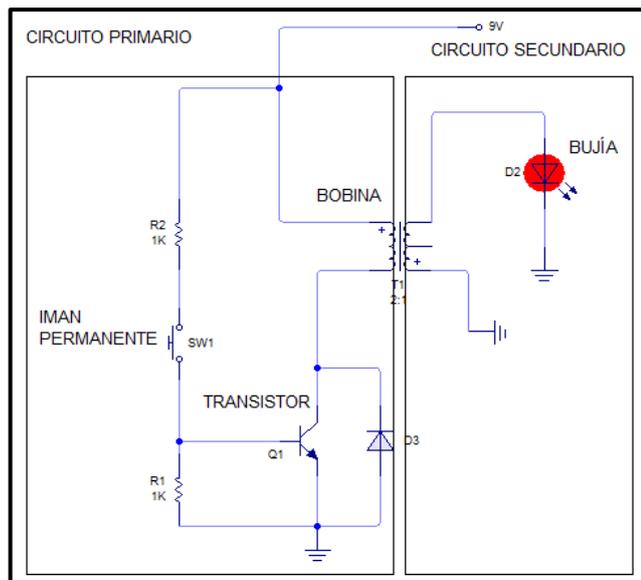


Figura 3.5: Circuito de encendido de Motor-Generador

Elaboración: Los Autores

Una ventaja importante de este sistema, es la durabilidad de éstas especialmente para altas revoluciones y alta compresión, además de la simplicidad de la bobina en su aspecto constructivo y del bajo precio.

Los elementos del sistema de encendido son:

- Imán Permanente
- Bobina
- Cable de Alta tensión
- Bujía
- Condensador
- Interruptor

El TCI permite alargar la vida útil del interruptor se lo denomina de esta manera debido a que se usa una bobina (éstas pueden entregar hasta 30.000 V) para almacenar la potencia que luego se descarga a las bujías.

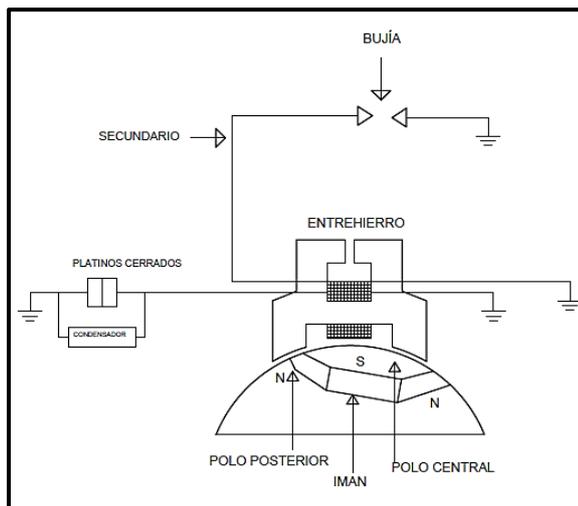


Figura 3.6: Circuito de encendido de Motor-Generador

Fuente: Los Autores

A continuación se presenta los componentes del sistema de encendido del motor-generador LUTOOL.



Figura 3.7: Componentes del Sistema de Encendido

Fuente: Los Autores

Al momento de jalar la empuñadura de arranque el imán permanente que están en el eje del motor a media que el volante da vueltas corta el campo magnético y se genera voltaje que posteriormente llega a la bobina de

encendido la cual eleva el voltaje y envía a través del cable y llega a la bujía para que salte la chispa en los electrodos y se produzca el tiempo de trabajo.

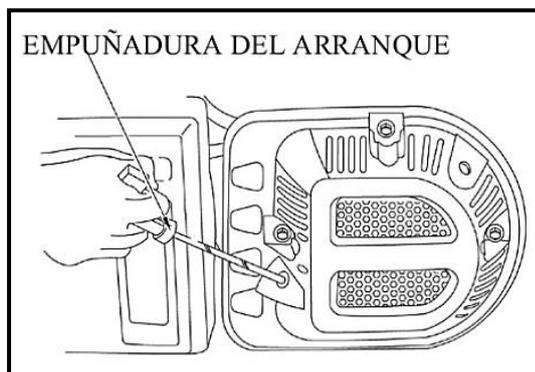


Figura 3.8: Empuñadura del Arranque

Fuente: <http://www.slideshare.net/Benzaenergia/manual-de-instrucciones-generador-benza-br-3000>

Sistema de Lubricación.- El sistema de lubricación para un motor en línea con válvulas a la cabeza (OHV). El aceite fluye a través de los levantaválvulas orificios para lubricar los balancines y los vástagos de las válvulas. Parte del aceite que es lanzado por los cojinetes de las bielas llega a las paredes del cilindro.

La galería principal o cárter, el aceite fluye a través de pasajes más pequeños hasta el árbol de levas, los pistones, el cigüeñal, y otras piezas móviles. Surtidores y pasajes de aceite dirigen el flujo del aceite a las piezas críticas, tales como los cojinetes y pistones.

A medida que el aceite lubrica las superficies de las piezas en movimiento, el aceite nuevo lo empuja fuera de esas piezas. El aceite se gotea desde las superficies lubricadas otra vez al depósito de aceite. En muchos motores se utiliza un enfriador de aceite para enfriar el aceite antes de que se vuelva a succionar el aceite a través del colador de aceite para repetir el ciclo (ARIAS, Edición Actualizada).

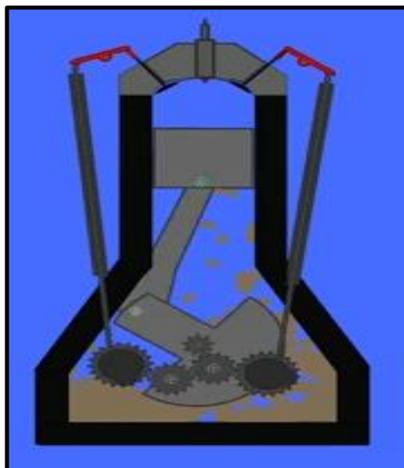


Figura 3.9: Lubricación del Motor-Generador LUTOOL

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=zrX6G6EvIBU#t=64>

La lubricación se realiza por el movimiento del cigüeñal, el cárter está con aceite SF15W30 para motor. El cambio de aceite se realiza por el conducto de ingreso de aceite el mismo que consta de un medidor de aceite máximo y mínimo y se drena por el orificio de vaciado el aceite es agitado bruscamente y se esparce por toda el área necesaria para lubricar.

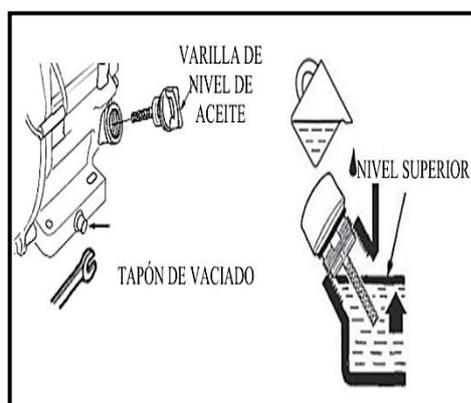


Figura 3.10: Medidor de aceite y orificio de drenaje

Fuente: <http://www.slideshare.net/Benzaenergia/manual-de-instrucciones-generator-benza-br-3000>

Sistema de Refrigeración.-La refrigeración de este motor es por aire en los motores refrigerados por aire los cilindros son semiindependientes es decir no se hallan agrupados en bloque. Tanto en los cilindros como en las

culatas dichos motores van provistos de aletas metálicas para lograr una mejor disipación del calor (CROUSE, William H. pag 287).



Figura 3.11: Aletas de Refrigeración

Fuente: Los Autores

En algunos de estos motores se emplean impulsores o ventiladores especiales para mejorar la circulación del aire alrededor de los cilindros y culatas.

En este caso el aire que pasa por las aletas del motor-generador es generado por una turbina de plástico la cual envía el aire a la camisa del pistón que tiene intercambiadores de calor, por este motivo el motor-generador debe estar en lugares ventilados.

El sistema de refrigeración por aire forzada, el aire es utilizado en los casos donde el motor va encerrado o cubierto y, por tanto, con menor contacto con el aire durante su desplazamiento. Consiste en un potente ventilador movido por el propio motor-generador, el cual crea una fuerte corriente de aire que es canalizada convenientemente hacia los cilindros para obtener una eficaz refrigeración aun cuando el motor-generador funcione a bajas revoluciones de las que indica el fabricante.

Las ventajas de este sistema son las siguientes:

- La sencillez del sistema.
- Menor entretenimiento del sistema.
- No está sometido a temperaturas críticas del elemento refrigerante.
- Disminuye las pérdidas de calor por refrigeración.
- Inconvenientes del sistema de refrigeración forzada por aire.

Estas pérdidas suelen ser un 18% menor que en la refrigeración por agua, obteniéndose, por tanto, un mayor rendimiento térmico.

Los Inconvenientes del sistema de refrigeración forzada por aire son:

- Los motores refrigerados por aire son más ruidosos que los refrigerados por agua por el hecho que son motores que trabajan a altas revoluciones por minuto
- La refrigeración es irregular debido a la mayor temperatura en los cilindros, la mezcla o aire aspirado se dilata. Con esto se reduce el llenado y, por tanto, la potencia útil del motor en un 6 % aproximadamente (DE MONROY, 2012).

3.2 CONVERSIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL DE GASOLINA A BIOGAS

Para utilizar biogas en el motor - generador LUTOOL, se tiene que trabajar en el sistema de alimentación de combustible para lo cual es necesario adaptar ciertos componentes para su correcto funcionamiento.

Además se cuenta con algunos equipos los cuales ayudan a que el biogas contenido en el biodigestor llegue al motor - generador totalmente purificado y se pueda utilizar como combustible alternativo con la finalidad de que no cause daños en el mismo.

3.2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE BIOGAS

El sistema de alimentación a biogas consta de los siguientes elementos:

- Biodigestor
- Trampa de Condensados
- Caudalímetro
- Filtro H₂S
- Soplador
- Ductos de alimentación Biogas
- Mezclador en el Motor-Generador LUTOOL

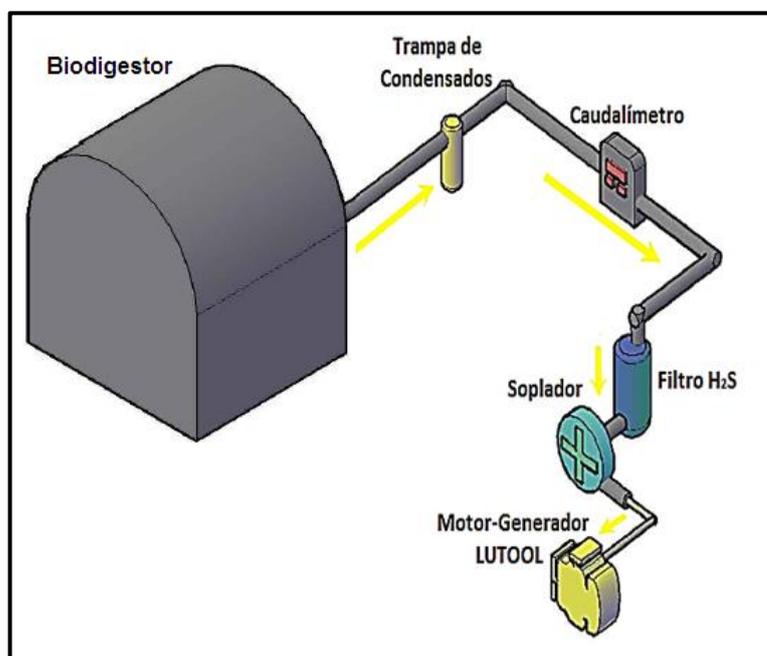


Figura 3.12: Sistema de alimentación de biogas

Elaboración: Los Autores

3.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A BIOGAS

Una vez que se activa el soplador mediante un motor eléctrico, el biogas circula desde el biodigestor a través del conducto de 2 plg de diámetro, pasa

por el manómetro de presión, seguidamente por el drenado de condensados, posteriormente pasa por la válvula manual unidireccional luego circula por el caudalímetro a continuación pasa por el filtro para H₂S, luego pasa por el soplador que sale por el conducto de 2 plg de diámetro, seguidamente se reduce el conducto a ½ plg de diámetro y finalmente ingresa al mezclador a través de un conducto de 3/8 plg de diámetro.

A continuación se presenta el diagrama de circulación en el sistema de alimentación de biogás desde el biodigestor hasta el motor-generator LUTOOL, con la respectiva simbología de cada uno de los elementos del sistema.

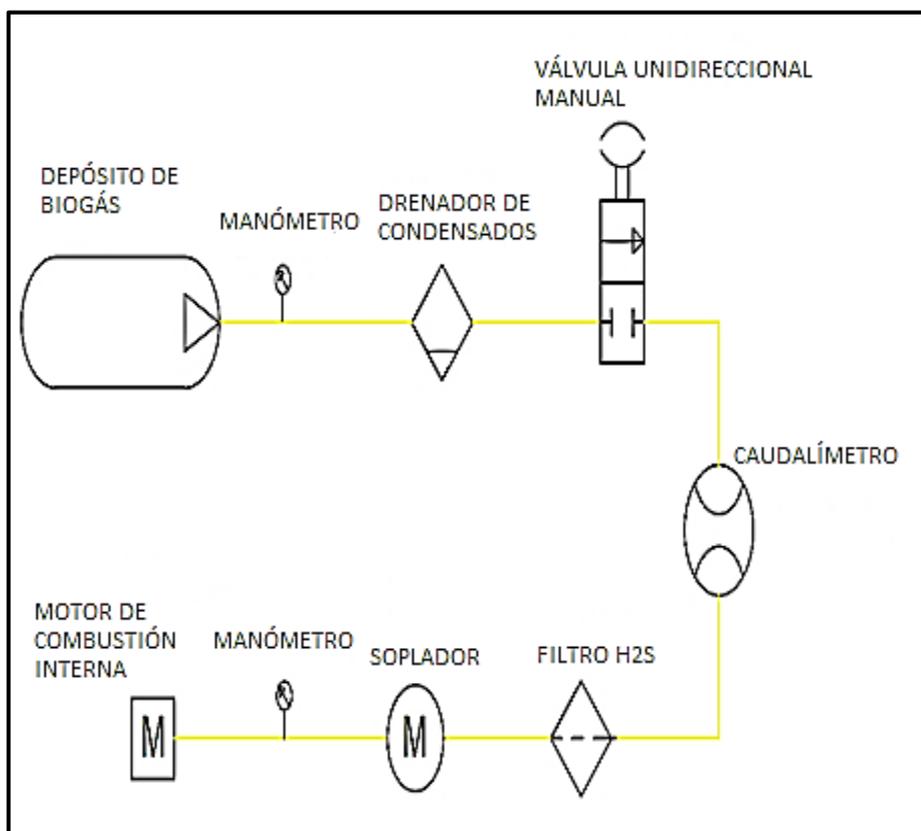


Figura 3.13: Diagrama de alimentación de biogás

Elaboración: Los Autores

3.3.1 TRAMPA DE CONDENSADOS

Se encargada de filtrar el agua que se genera en el sistema de la producción de biogas por la condensación de la misma ésta se encuentra a la salida del biodigestor en el conducto de salida de biogas.



Figura 3.14: Trampa de Condensados

Fuente: Los Autores

3.3.2 CONJUNTO CAUDALÍMETRO – SOPLADOR.

a) El caudalímetro o medidor de caudal

Es el encargado de medir el consumo de biogas en (litros o m^3) es muy importante para tener en cuenta que cantidad de biogás consume cierto tipo de equipo. Este caudalímetro es de cerámica y puede medir desde un caudal mínimo de ($0,65 m^3/h$), y una presión máxima de 0,5 bares.



Figura 3.15: Caudalímetro de Biogas

Fuente: Los Autores

b) Soplador

Los sopladores de canal lateral son indicados para aquellas aplicaciones que exigen presiones considerablemente superiores a las que pueden conseguirse utilizando ventiladores centrífugos.

Los extractores de canal lateral se utilizan en todas aquellas aplicaciones que demandan un vacío de servicio mayor del alcanzable con un ventilador y que sin embargo no precisan del uso de una bomba de vacío. Las piezas giratorias no están en contacto con la carcasa, por lo que no hay ninguna fricción durante el funcionamiento ni, por lo tanto, ninguna necesidad de lubricación interna. Resulta pues que el biogás transportado en la máquina no se contamina y permanece totalmente exento de aceite (Aqualimpia, 2013).

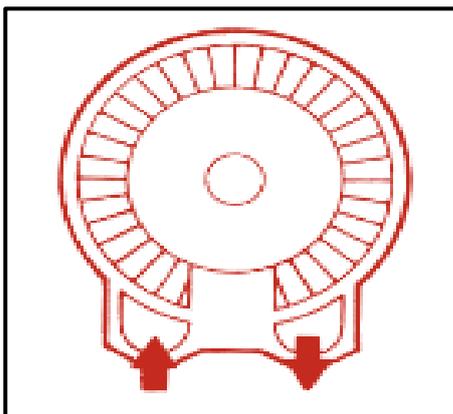


Figura 3.16: Esquema de soplador de Biogas

Fuente: <http://www.aqualimpia.com/PDF/SOPLADORES.pdf>

El soplador instalado en la Hacienda es accionado por un motor eléctrico de 0.5 hp, el caudal de entrada del soplador es igual al de salida con una presión máxima de 0,5 bares.



Figura 3.17: Soplador de Biogas

Fuente: Los Autores

Este elemento tiene la función de absorber el biogas desde el biodigestor para aumentar la presión y velocidad del fluido gaseoso para que el biogas llegue a la válvula reguladora manual que posteriormente permite el ingreso al mezclador y finalmente al motor-generator.

c) Filtro de Ácido Sulhídrico (H_2S).

El ácido sulhídrico H_2S está normalmente presente en el biogas de digestión anaerobia en concentraciones que varían entre (100 - 4.000) ppm, dependiendo del residuo de alimentación, y es uno de los contaminantes más problemáticos a la hora de utilizar el gas del digestor o de desgasificación como fuente de energía, es tóxico y corrosivo para la mayor parte de los equipos, además de un compuesto oloroso.

Hay diferentes clase de filtros para remover el H_2S del biogás, a continuación se muestra la imagen de un biofiltro utilizado a nivel industrial, este tipo de biofiltro en su interior posee bacterias que digieren el H_2S de esta manera remueven el H_2S del biogás (Protecma, 2014).



Figura 3.18: Biofiltro para remover el H_2S a nivel industrial

Fuente: <http://www.aqualimpia.com/PDF/Biofiltros.pdf>

En la Hacienda “San Francisco” para la purificación del biogas se utiliza un filtro de H_2S que consiste en un depósito lleno de limallas de hierro oxidadas



Figura 3.19: Filtro de limallas para remover H_2S del Biogas

Fuente: Los Autores

Este filtro mediante un proceso químico remueve el H_2S del biogas, en el cual se realiza procesos con aminos y carbonato de potasio. La regeneración se hace con incremento de temperatura y decremento de presión.



Figura 3.20: Estructura interna del filtro de oxidación.

Fuente: Los Autores

Así también tiene un drenaje de condensados en la parte inferior, este tipo de filtro es el más utilizado a nivel nacional por su costo y construcción, el soplador hace circular el biogas por este filtro y se obtiene el biogas en el cuarto de máquinas listo para su uso como carburante purificado.



Figura 3.21: Conjunto Caudalímetro, Soplador y Filtro H₂S

Fuente: Los Autores

Si el biogas es utilizado para equipos tales como generadores eléctricos, microturbinas y otros, el ácido sulfhídrico puede causar daños internos. En el caso de los generadores eléctricos, el H_2S hará un efecto de corrosión directamente en los pistones. Existe un número importante de opciones y alternativas para remover el H_2S ; sin embargo para industrias pequeñas y medianas, tales como granjas agropecuarias y otras, el uso de óxido de hierro es la opción más económica y técnicamente viable (JOAQUIN, 2010).

3.4 MEZCLADOR

El mezclador es el encargado de mezclar el aire y el biogas en las proporciones correctas (relación estequiométrica), bajo cualquier régimen de carga del motor. En los sistemas a biogás el mezclador es el equivalente al carburador de un motor a gasolina.

Es importante escoger el mezclador adecuado para garantizar el mejor rendimiento del motor y el mayor ahorro de combustible. El cuerpo principal se construye de tal manera que permite el alojamiento del venturi, y este último, quede en forma coaxial con el tubo de entrada del múltiple de admisión del motor.



Figura 3.22: Conjunto Mezclador

Elaboración: Los Autores

El cuerpo principal se construye generalmente de aluminio, además, tiene características geométricas similares a la entrada del múltiple de admisión tanto por el ingreso de aire como por el de salida de la mezcla aire/biogas.

El venturi es la parte que mezcla el biogas con el aire en las proporciones adecuadas para cualquier régimen de carga del motor. Tiene el mismo principio dinámico de flujo que los carburadores convencionales, esto quiere decir, que el flujo de biogas, que proviene a través del conducto que recibe el biogas desde el regulador, llega a ingresar al venturi por la depresión que existe en la garganta.

Es la parte principal del sistema de conversión cuando se utiliza un combustible gaseoso en este caso biogas, el cual dosifica y proporciona la cantidad adecuada de Aire/Combustible que es aspirada para alimentar el motor, está unido directamente al carburador (LIRA, 2012).

3.4.1 MEZCLADOR TIPO VENTURI

Este tipo de mezclador se apoya en el principio de reducción de sección transversal, conocido como “principio de venturi”. El cual consiste en reducir el área por donde pasa un fluido para provocar su aceleración. En el caso del mezclador, el aire que pasa por el venturi es acelerado en la sección más estrecha del pasaje, la cual es llamada garganta del venturi, o vena contraída. Esta aceleración crea una presión negativa en la última etapa, lo cual se transforma en suministro de combustible por este cambio de presión.



Figura 3.23: Mezclador

Elaboración: Los Autores

Los suministros de biogás, se encuentran igualmente ubicados alrededor de la garganta del venturi. Una vez que el biogas ha atravesado estos

orificios, se mezcla con el aire y pasa seguidamente a la cámara de combustión, por medio de la válvula estranguladora o válvula de aceleración del motor.

En la forma conceptual más sencilla, esta operación es todo lo que se requiere para mezclar eficientemente el aire con el biogas. Sin embargo, es muy importante tomar en cuenta el perfil del venturi, la garganta para el paso de aire, y los orificios para el paso de biogas.

El perfil ideal en el diseño de un mezclador, es la forma tipo venturi simétrica, con entrada redondeada y una larga cola de salida. Con esta forma, se podrá lograr producir el mayor incremento en la velocidad del aire con la menor caída del volumen del mismo.

El diámetro de la garganta debe ser suficiente para acelerar el aire en el modo biogas, pero no tan reducido que perjudique la cantidad de aire que requiere el motor en gasolina.

Los orificios para el paso de biogas, se calculan en función de la proporción aire / combustible (BAQUERO & AVILA, 2008).

3.4.2 FUNCIONAMIENTO

Cuando el motor está en marcha mínima, el flujo de aire es bajo, y la mezcla del combustible se controla con el regulador manual, suministrando el biogás bajo presión hasta los orificios del mezclador. Este circuito de control se cierra en el momento que el flujo de aire aumente por encima del rango de control mínimo.

El procedimiento de instalación de los mezcladores tipo venturi debe efectuarse prestando atención al manejo de materiales y limpieza para evitar que partículas de metal pueda caer accidentalmente en el interior del carburador.

La entonación del motor con mezcladores bajo el principio venturi, no debe requerir control o restricción de la entrada de aire, sin embargo, en

casos extremos donde no se logre la debida entonación se puede recurrir a este tipo de restricción, pero garantizando que la misma no produzca restricción cuando el motor opere en gasolina. En caso de que esto ocurra, aumentar el diámetro de la garganta del venturi y utilizar una restricción de aire variable que abra completamente cuando se usa gasolina.

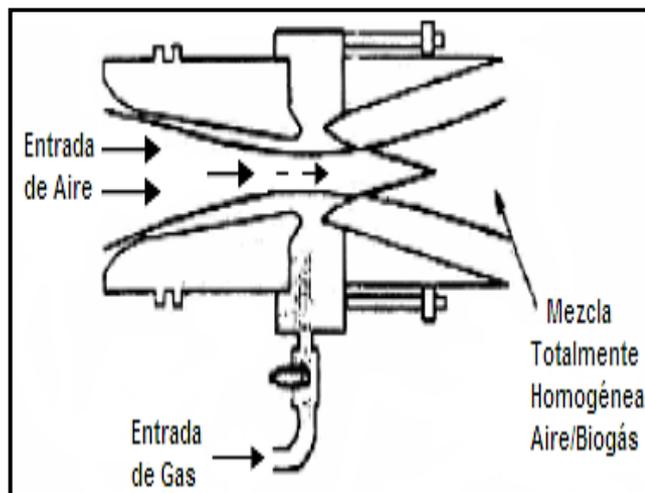


Figura 3.24: Funcionamiento del mezclador

Fuente: BAQUERO & AVILA, 2008

Además, se sabe que el flujo de aire ingresa a la cámara del motor debido a la succión provocada por la carrera descendente del pistón en el proceso de admisión, que se desarrolla desde el ingreso al mezclador y se acelera al pasar por la garganta del venturi o tobera, con lo que se obtiene una presión negativa (succión) en dicho punto así como también se aumenta la velocidad del biogás (Baquero & Avila, 2008).

3.4.3 CÁLCULO DEL MEZCLADOR

El material que se escogió para la construcción del mezclador fue el aluminio por las siguientes características:

- Su ligereza
- Peso

- No es magnético
- Fácil de adquirir en el mercado ecuatoriano
- Muy dúctil
- Resistente a la corrosión

Además hay que recalcar que el mezclador va instalado en el cuerpo del carburador.

3.4.4 DESARROLLO

Toma de datos del motor de combustión

Para establecer las dimensiones del mezclador de Aire/Biogás, es necesario conocer los datos principales del motor – generador LUTOOL para adaptar el sistema de alimentación de combustible Biogás.

Diámetro del carburador: 23 mm

Cilindrada del motor: 87 cc

Número de cilindros: 1

Motor de 4 tiempos

3.4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL MEZCLADOR

Con los datos del motor obtenidos, es momento de iniciar con los cálculos necesarios que ayudan a determinar las medidas con las que el mezclador entrará a funcionar.

Se calcula la cantidad de volumen admitido por el motor, para ello necesitamos de la eficiencia volumétrica del motor – generador LUTOOL, la velocidad, la cilindrada unitaria, y si es de 2 o 4 tiempos.

$$Q_a = \frac{\eta_v N V_h}{60 n} \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

Q_a = Cantidad de aire admitido

η_v = Eficiencia volumétrica, recomendado de 85%

V_h = Cilindrada unitaria, 0,000087 m³

N = Revoluciones del motor, 3600 rpm

n = Motor de 4 tiempos

$$Q_a = \frac{(0.85)(3600)rpm(0,000087m^3)}{60(4)} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$Q_a = 0,001109 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$A_2 = \frac{A_1 V_1}{V_2} = \frac{Q_a}{V_2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$V_1 = \frac{Q_a}{A_1} = 13,9 \text{ m/s}$$

$$V_1 = \frac{0,001109 \left(\frac{m^3}{s} \right)}{\frac{\pi \times (0,023m)^2}{4}} = 2,67 \text{ m/s}$$

Para hallar V_2 se utiliza otra fórmula en la que se utiliza el número de MACH para biogas que es menor de 0.3

$$V_2 = M c \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Dónde:

V_2 = Velocidad en la garganta

M = Número de Mach, >0,1 para el aire asumido 0,05

c = Velocidad del sonido, 340,5 m/s (a 15 °C)

$$V_2 = (0.05)(340.5m/s)$$

$$V_2 = 17 \text{ m/s}$$

Ahora se reemplaza en la ecuación del área:

$$A_2 = \frac{Q_a}{V_2}$$

$$A_2 = \frac{0,001109 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{17 \text{ m/s}}$$

$$A_2 = 0,0000652 \text{ m}^2$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 A_2}{\pi}}$$

Ecuación 3.4

$$D_2 = \sqrt{\frac{(4)(0,0000652 \text{ m}^2)}{\pi}}$$

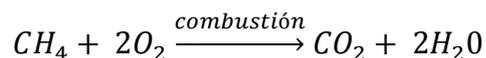
$$D_2 = 0,00911 \text{ m}$$

$$D_2 = 9,11 \text{ mm}$$

Para obtener el área de paso del biogas es necesario obtener la relación de mezcla aire/combustible que se obtiene a partir del número de moles necesarios para que se combustione de manera eficiente el biogas.

Hay que considerar que 1 mol de oxígeno está contenido en 138 gr de aire.

➤ Biogas



Ecuación 3.5

Entonces 2 moles de oxígeno para combustionar 1 mol de biogás dando la siguiente relación:

$$\frac{2 \text{ mol } O_2}{1 \text{ mol } CH_4} = \frac{4 (138 \text{ gr})}{1 (3 \times 12 + 4 \times 1)} = 13:1 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$13 \times 100\% = 13$$

Tomando en cuenta que el biogas no es completamente puro, vamos a tomar un margen de error del 20% es decir:

$$13 \times 80\% = 10,4:1 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Con lo que se tiene una mezcla más rica.

Ahora se reemplaza en la fórmula siguiente

$$A/C = \frac{A_2}{A_f} \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_c}} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Dónde:

ρ_a = densidad del aire (a 15 °C) 1,275 Kg/m³

ρ_c = densidad del biogás (a 15 °C) 1,223 Kg/m³

$$A_f = \frac{0,0000652 \text{ m}^2}{13} \sqrt{\frac{1,275 \text{ Kg/m}^3}{1,223 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$A_f = 0,00000512 \text{ m}^2 = 5.12 \text{ mm}^2$$

Si la relación largo por ancho es de 2.6 mm por 2 mm se obtiene el área necesaria para el paso de biogás de 5.2 mm².

3.5 COMPONENTES ADAPTADOS EN EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL CON BIOGAS

Los elementos constitutivos adaptados al sistema de alimentación del motor para que trabaje con biogas como combustible y fuente de energía son primordiales puesto que cada componente cumple con una función específica para lograr un buen funcionamiento del motor – generador.

- a. Regulador de ingreso de biogas
- b. Ingreso de biogas
- c. Manómetro de presión
- d. Mezclador aire / biogas

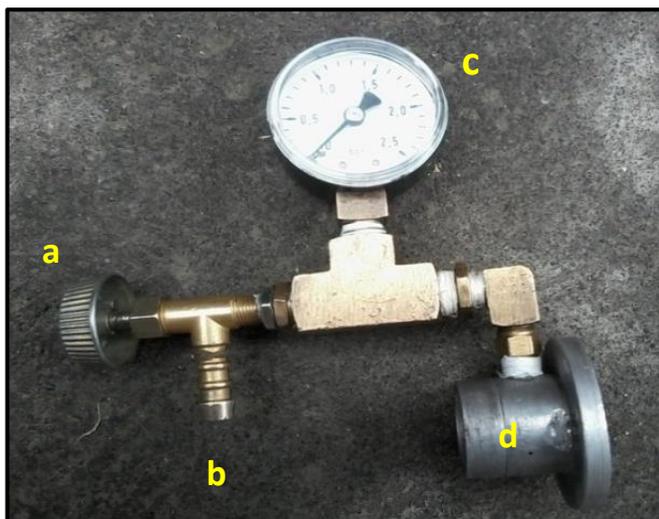


Figura 3.25: Elementos del Sistema de Alimentación de Biogas.

Fuente: Los Autores

a. Regulador de Ingreso de Biogas

Es una válvula de aguja manual la cual se calibra para permitir el ingreso de biogas para el funcionamiento óptimo del motor - generador, es controla por el número de vueltas, el giro es de $\frac{1}{4}$ de su posición totalmente cerrada.



Figura 3.26: Regulador de Ingreso de Biogas.

Fuente: Los Autores

b. Ducto de Ingreso de Biogas

El biogas que proviene del biodigestor llega a este conducto mediante un soplador accionado eléctricamente a través de una manguera de $\frac{3}{4}$ de plg de diámetro, para que el biogas sea manipulado directamente a través del regulador de ingreso de biogas.



Figura 3.27: Ingreso de Biogas.

Fuente: Los Autores

c. Manómetro de Presión

La presión de ingreso del biogas al motor - generador esta monitoreada por un manómetro de presión de (0 a 2.5) bares, la presión de ingreso del biogas al mezclador es baja.



Figura 3.28: Manómetro de Presión

Fuente: Los Autores

d. Mezclador aire / biogas

El ingreso del biogas al mezclador lo realiza mediante una unión de cobre de 3/8 plg, ubicado en la parte externa del mezclador tiene un ángulo de 90 grados que forma con las guías de salida del biogas al motor- generador.



Figura 3.29: Entrada de Biogas a la Cámara

Fuente: Los Autores

Produciéndose la mezcla A/C en la garganta del mezclador y la reducción de la presión de tal forma de incrementar la velocidad de ingreso de la mezcla al interior del cilindro obteniendo un correcto llenado.

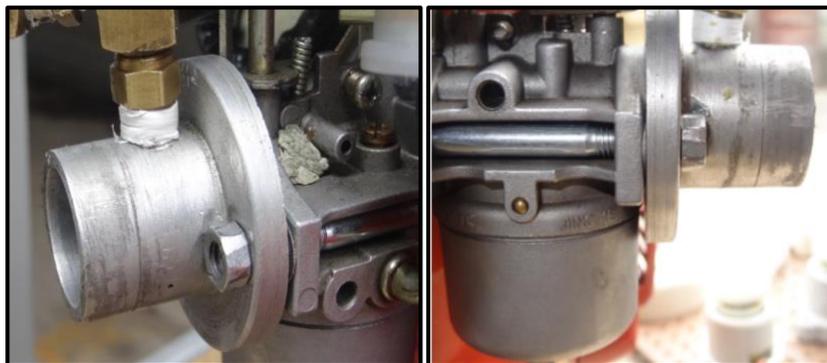


Figura 3.30: Ingreso de Biogas a la Cámara

Fuente: Los Autores

3.5.1 INSTALACIÓN

Para la instalación, el conjunto de alimentación de biogas se ubica directamente con un sistema de fijación alojado en la parte superior del carburador.



Figura 3.31: Instalación del sistema de Alimentación de biogas

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO 4

4.1 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL MOTOR - GENERADOR LUTOOL PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS CON BIOGAS RESPECTO A LA GASOLINA

Para las pruebas del motor – generador LUTOOL se utilizó el Banco Dinamométrico Hidráulico TecQuiment TD II4, en las instalaciones de la Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE sangolqui, Laboratorio de Motores de Combustión Interna y la Hacienda “San Francisco” ubicada en la ciudad de Latacunga sector Lasso.



Figura 4.1: Pruebas

Fuente: Los Autores

Los datos que se obtuvieron al utilizar el Banco Dinamométrico Hidráulico son torque, revoluciones, ingreso de aire, consumo de combustible y temperatura de los gases de escape, valores necesarios para el cálculo de los parámetros del motor – generador y así obtener las curvas características como también analizar el rendimiento térmico y volumétrico.

Tabla 4.1: Valores obtenidos con Gasolina

TEST	N	T	Tq	ho	T
Nº	r.p.m.	min	N.m	mmH ₂ O	°C
1	1400	2,77	1,88	2	250
2	1600	2,43	1,98	2,3	270
3	1800	2,50	2,08	2,5	280
4	2000	1,98	2,18	3,5	290
5	2200	1,88	2,28	4	290
6	2400	1,60	2,33	5	300
7	2600	1,45	2,48	5,5	320
8	2800	1,22	2,88	6,5	320
9	3000	1,28	2,98	8,5	345
10	3200	0,93	3,48	10	360
11	3400	0,83	3,58	11	325
12	3600	0,77	3,88	12	300

Elaboración: Los Autores

Tabla 4.2: Valores obtenidos con Biogas

Test	N	T	Tq	ho	T
Nº	rpm	Min	N.m	mmH ₂ O	°C
1	1400	2,00	1,78	2,5	350
2	1600	2,43	1,88	3	360
3	1800	2,50	1,98	5,5	370
4	2000	1,98	2,08	6,5	380
5	2200	1,88	2,18	8	390
6	2400	1,60	2,28	8,5	420
7	2600	1,45	2,38	16	345
8	2800	1,22	2,78	14	320
9	3000	1,28	3,18	14,5	320
10	3200	1,00	3,28	15	330
11	3400	0,85	3,38	16,5	370
12	3600	0,77	3,68	17	400

Elaboración: Los Autores

4.2 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS

Para el cálculo se consideró los valores de torque, revoluciones, ingreso de aire, consumo de combustible y temperatura de los gases de escape obtenidos del Banco Dinamométrico Hidráulico TecQuipment TD II4 a distintas revoluciones de giro con los dos combustibles de prueba.

4.2.1 POTENCIA

De la ecuación (2.2) se tiene:

Gasolina.

$$P = 3,88 \text{ N.m} \times \frac{2\pi \times 3600}{60 \text{ seg}} \quad (\text{Watts})$$

$$P = 1462,72 \quad (\text{Watts})$$

$$\mathbf{P = 1,46 \text{ (KW)}}$$

La potencia que da el fabricante del motor-generador es de 1,7 KW a 3600 rpm pero esta potencia se obtiene cuando el motor trabaja a nivel del mar, a las condiciones de sangolqui la máxima potencia es de 1,46 KW a 3600 rpm.

Biogas.

$$P = 3,68 \text{ Nm} \times \frac{2\pi \times 3600}{60 \text{ seg}} \quad (\text{Watts})$$

$$P = 1387,32 \quad (\text{Watts})$$

$$\mathbf{P = 1,38 \text{ (KW)}}$$

La máxima potencia con biogas es de 1,38 KW a 3600 rpm esto representa una pérdida de 5,48 % respecto a la máxima potencia con gasolina.

4.2.2 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO

De la ecuación (2.5) se tiene:

Gasolina.

$$PMEF = \frac{1462,72 \frac{(\text{Nm})}{\text{s}}}{V_D} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

Dónde de la ecuación (2.5) se tiene:

$$V_D = n\pi \frac{D^2}{4} \times L \times \frac{N}{60K_2} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

V_D = Consumo Volumetrico de Aire Teorico.

$K_2 = 2$ Si el motor es de 4 tiempos

$$V_D = 1 \times \pi \frac{(0,054 \text{ m})^2}{4} \times 0,038 \text{ m} \times \frac{3600}{60(2)\text{s}}$$

$$V_D = 0,002610 \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Se remplaza V_D en (2.4)

$$PMEF = \frac{1462,72 \frac{(\text{Nm})}{\text{s}}}{0,002610 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}$$

$$PMEF = 560\,429 \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$PMEF = 560,42 \quad \left(\frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right)$$

Biogas.

$$PMEF = \frac{1387,32 \frac{(\text{Nm})}{\text{s}}}{V_D} \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$V_D = n\pi \frac{D^2}{4} \times L \times \frac{N}{60K_2} \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

V_D = Consumo Volumetrico de Aire Teorico.

$K_2 = 2$ Si el motor es de 4 tiempos

$$V_D = 1 \times \pi \frac{(0,054 \text{ m})^2}{4} \times 0,038 \text{ m} \times \frac{3600}{60(2) \text{ s}}$$

$$V_D = 0,002610 \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Se reemplaza V_D en (2.5)

$$PMEF = \frac{1387,32 \frac{(\text{Nm})}{\text{s}}}{0,002610 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)}$$

$$PMEF = 531\,540 \quad \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$PMEF = 531,54 \quad \left(\frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \right)$$

En lo que se refiere a la presión media efectiva al freno ésta representa que a mayor valor de PMEF más grande es el trabajo producido por centímetro cúbico ya sea con gasolina o biogas.

4.2.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE (m_c)

De la ecuación (2.10):

Gasolina.

$$m_c = \frac{16 \text{ cc}}{1,88 \text{ min}} \times 0,742 \left(\frac{g}{\text{cc}} \right)$$

$$m_c = 6,31 \left(\frac{g}{\text{min}} \right) \times \left(\frac{1Kg}{1000g} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1h} \right)$$

$$m_c = 0,38 \left(\frac{Kg}{h} \right)$$

Biogas.

$$m_c = \frac{20000 \text{ cc}}{1,88 \text{ min}} \times 1,267 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$m_c = 13\,478,72 \left(\frac{\text{cc} \cdot Kg}{\text{min} \cdot m^3} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1h} \right) \times \left(\frac{1 m^3}{(100 \text{ cm})^3} \right)$$

$$m_c = 0,81 \left(\frac{Kg}{h} \right)$$

Con los dos combustibles de prueba el valor del consumo de combustible indica la rapidez de consumo del motor, y sirve para comparar de forma independiente con cada combustible.

4.2.4 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO

De la ecuación (2.12) se tiene:

Gasolina.

$$CECF = \frac{0,38 \left(\frac{Kg}{h} \right)}{1462,72 \text{ (Watts)}} \times \frac{1000 \text{ Watts}}{1 \text{ KW}}$$

$$CECF = 0,259 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{KW} - \text{h}} \right)$$

Es este caso este es el menor consumo de combustible a 1400 rpm, pero no es a la máxima potencia del motor-generador.

Biogas.

$$CECF = \frac{0,81 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)}{1387,32 \text{ (Watts)}} \times \frac{1000 \text{ Watts}}{1 \text{ KW}}$$

$$CECF = 0,583 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{KW} - \text{h}} \right)$$

El menor consumo de combustible con biogas se da a las 1800 rpm de igual manera no coinciden con la máxima potencia del motor-generador.

4.2.5 CONSUMO DE AIRE (\dot{m}_a)

De la ecuación (2.14) se tiene:

Gasolina.

$$\dot{m}_a = \frac{\pi(0,0134 \text{ mm})^2}{4} \times 0,62 \times \sqrt{\frac{2 \times (9,81) \times (4) \times 72 \ 927,33}{287 \times 293}} \times 3600 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{m}_a = 2,6 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

Biogas.

$$\dot{m}_a = \frac{\pi(0,0134 \text{ mm})^2}{4} \times 0,62 \times \sqrt{\frac{2 \times (9,81) \times (8) \times 76 \ 582,17}{287 \times 273,8}} \times 3600 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{m}_a = 3,8 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)$$

Este valor representa la masa de aire que ingresa como parte de la carga fresca y que es requerida para una eficiente combustión del combustible y que posteriormente ayuda para determinar la relación aire-combustible.

4.2.6 RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE $\left(\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_c}\right)$

De la ecuación (2.15) se tiene:

Gasolina.

$$A/C = \frac{2,6 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)}{0,38 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)}$$

$$A/C = 6,8$$

Biogas.

$$A/C = \frac{3,8 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)}{0,81 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right)}$$

$$A/C = 4,6$$

La relación A/C está dada como la relación entre la cantidad de aire utilizado en la combustión y la cantidad de combustible quemado pero en ninguno de los casos llega a la estequiométrica.

4.2.7 RENDIMIENTO TÉRMICO (η_t)

De la ecuación (2.17) se tiene:

Gasolina.

$$\eta_t = \frac{1462,72 \frac{J}{s}}{0,38 \frac{Kg}{h} \times 53 \ 821,16 \frac{J}{g} \times \frac{1000 g}{1 Kg} \times \frac{1 h}{3600 s}}$$

$$\eta_t = 0,25 \times 100$$

$$\eta_t = 25 \%$$

Biogas.

$$\eta_t = \frac{1387,32 \frac{J}{s}}{0,81 \frac{Kg}{h} \times 14 \ 656,56 \frac{J}{g} \times \frac{1000 g}{1 Kg} \times \frac{1 h}{3600 s}}$$

$$\eta_t = 0,42 \times 100$$

$$\eta_t = 42 \%$$

El valor del rendimiento térmico indica que porcentaje del poder calórico del combustible se transforma en trabajo.

4.2.8 RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO (η_v)

De la ecuación (2.19) se tiene:

Gasolina.

$$\eta_v = \frac{\text{Consumo de Aire Real}}{\text{Consumo de Aire Teórico}}$$

En la ecuación (2.20) Asumiendo densidad constante:

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_D}$$

Dónde:

$\dot{V}_a = \text{Consumo Volumetrico de Aire Real}$

$$\dot{V}_a = \frac{\text{Consumo Másico de Aire}}{\text{Densidad del Aire}}$$

$$\dot{V}_a = \frac{2,6 \left(\frac{Kg}{h} \right)}{0,88 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)}$$

$$\dot{V}_a = 2,95 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600 \text{ seg}}$$

$$\dot{V}_a = 0,00082 \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)$$

Se reemplaza \dot{V}_a en la ecuación (2.19)

$$\eta_v = \frac{0,00082 \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)}{0,002610 \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)}$$

$$\eta_v = 0.314 \times 100$$

$$\eta_v = 31,4\%$$

Biogas.

$$\eta_v = \frac{\text{Consumo de Aire Real}}{\text{Consumo de Aire Teórico}}$$

En la ecuación (2.20) Asumiendo densidad constante:

$$\eta_v = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_D}$$

Dónde:

$\dot{V}_a = \text{Consumo Volumetrico de Aire Real}$

$$\dot{V}_a = \frac{\text{Consumo Másico de Aire}}{\text{Densidad del Aire}}$$

$$\dot{V}_a = \frac{3,8 \left(\frac{Kg}{h} \right)}{0,987 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)}$$

$$\dot{V}_a = 3,85 \frac{m^3}{h} \times \frac{1h}{3600 \text{ seg}}$$

$$\dot{V}_a = 0,00106 \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)$$

Se reemplaza \dot{V}_a en la ecuación (2.19)

$$\eta_v = \frac{0,00106 \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)}{0,002610 \left(\frac{m^3}{\text{seg}} \right)}$$

$$\eta_v = 0.406 \times 100$$

$$\eta_v = 40,6\%$$

El valor del rendimiento volumétrico indica el porcentaje de llenado del cilindro al momento de la carrera de admisión de mezcla nueva.

Los cálculos de la tabla 4.3 y 4.4 se obtienen los parámetros que nos ayudan a determinar el rendimiento del motor – generador, a diferentes regímenes de giro, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 4.3: Valores con Gasolina

TEST	rpm	TIEMPO (min)	TORQUE (Nm)	ALTURA DEL MANOMETRO (mmH2)	TEMPERATURA (°C)	POTENCIA (KW)	PRESION MEDIA EFECTIVA AL FRENO (KN/m2)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (kg/h)	CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO (kg/KW-h)	CONSUMO DE AIRE (kg/h)	RELACION AIRE COMBUSTIBLE A/C	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE REAL (m ³ /s)	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE TEORICO (m ³ /s)	RENDIMIENTO TERMICO %	RENDIMIENTO VOLUMETRICO %
Nº	N	t	Tq	ho	T	P	PMEF	mc	CECF	ma	A/C	Va	VD	η_t	η_v
1	1400	2,77	1,88	2	250	0,28	202,49	0,26	934,12	1,8	6,90	0,0003826	0,001015	9,34	37,70
2	1600	2,43	1,98	2,3	270	0,33	213,27	0,29	882,39	1,9	6,51	0,0004103	0,001160	10,65	35,37
3	1800	2,50	2,08	2,5	280	0,39	224,04	0,28	726,72	2,0	6,97	0,0004278	0,001305	12,86	32,78
4	2000	1,98	2,18	3,5	290	0,46	234,81	0,36	786,62	2,4	6,55	0,0005062	0,001450	13,34	34,91
5	2200	1,88	2,28	4	290	0,53	245,58	0,38	720,05	2,5	6,64	0,0005411	0,001595	14,93	33,93
6	2400	1,60	2,33	5	300	0,59	250,96	0,45	760,25	2,8	6,31	0,0006050	0,001740	15,56	34,77
7	2600	1,45	2,48	5,5	320	0,68	267,12	0,49	727,53	2,9	6,00	0,0006345	0,001885	16,86	33,66
8	2800	1,22	2,88	6,5	320	0,84	310,20	0,59	693,30	3,2	5,47	0,0006898	0,002030	18,19	33,98
9	3000	1,28	2,98	8,5	345	0,94	320,98	0,56	592,88	3,7	6,60	0,0007888	0,002175	20,41	36,27
10	3200	0,93	3,48	10	360	1,17	374,83	0,76	654,45	4,0	5,21	0,0008556	0,002320	22,62	36,88
11	3400	0,83	3,58	11	325	1,27	385,60	0,85	670,60	4,2	4,88	0,0008974	0,002465	24,2	36,40
12	3600	0,77	3,88	12	300	1,46	417,91	0,93	635,19	4,4	4,68	0,0009373	0,002610	25,3	31,4

Elaboración: Los Autores

Potencia Máxima ■Menor Consumo de combustible ■

4.3 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL CON GASOLINA

Las tres curvas que caracterizan al motor – generador LUTOOL que se obtuvo utilizando el Dinamómetro Hidráulico TecQuipment TD II4 para la toma de valores, se presentan a continuación.

4.3.1 Curva de Potencia

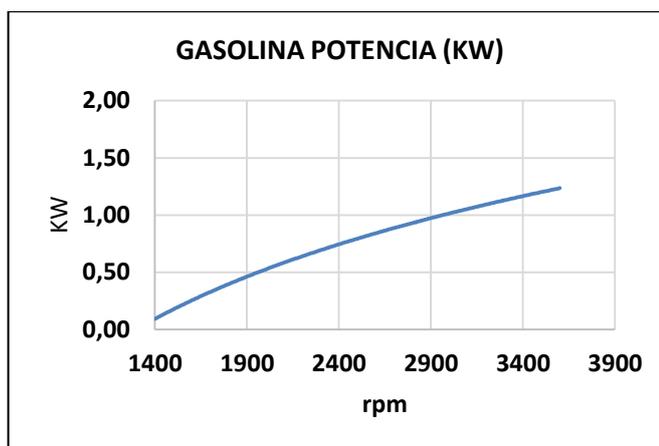


Figura 4.2: Curva de Potencia

Fuente: Los Autores

4.3.2 Curva del Torque

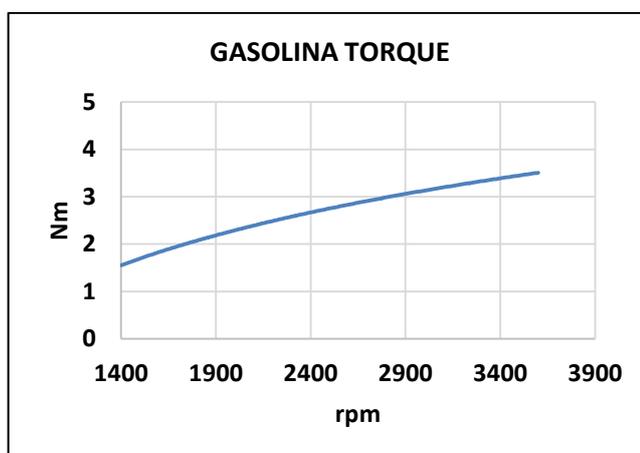


Figura 4.3: Curva del Torque

Fuente: Los Autores

4.3.3 Curva de Consumo de Combustible

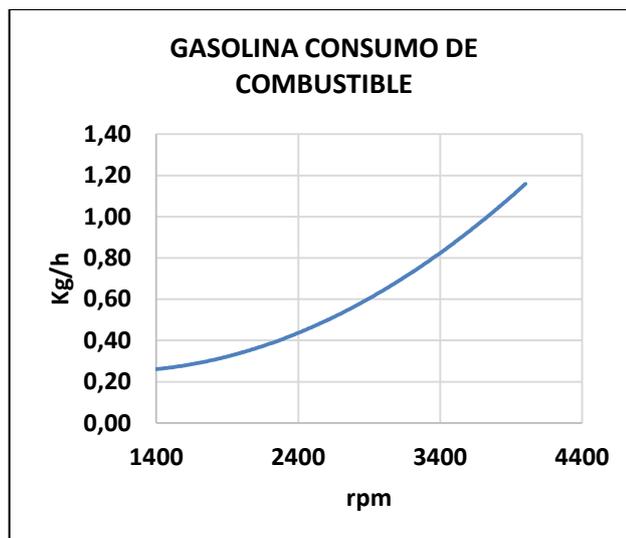


Figura 4.4: Curva de Consumo de Combustible

Fuente: Los Autores

4.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR – GENERADOR LUTOOL CON BIOGAS

Par la obtención de las curvas características del motor – generador LUTOOL utilizando biogas como carburante alternativo se tiene en cuenta la altura sobre el nivel del mar al que se encuentra el sector de Lasso donde está localizada la Hacienda “San Francisco”, para efectuar los cálculos con el objetivo de realizar las curvas características, estos parámetros se establecen según la tabla 4.4 de variación de presión y temperatura.

La presión de 582 (mmHg) que se muestra en la tabla se tiene que transformar a (Pa) que es igual 76 582,17 Pa, para poder realizar todos los cálculos con biogas puesto que las pruebas se realizó en la Hacienda “San Francisco”, así también se utiliza el valor de temperatura del lugar y densidad del aire.

Tabla 4.4: Variación de la presión y temperatura según (msnm)

Altura m	Temperatura K	Presión		Densidad Kg/m ³
		mmHg	bar	
0	288	760	1,013	1,225
200	286,8	742	0,099	1,202
400	285,4	725	0,966	1,179
600	284,4	707	0,942	1,156
800	282,9	690	0,92	1,134
1000	281,6	674	0,898	1,112
1400	279	642	0,856	1,07
1600	277,7	626	0,834	1,048
2000	275,1	596	0,794	1,007
2200	273,8	582	0,776	0,987
2400	272,5	567	0,756	0,967
2600	271,2	543	0,737	0,947
2800	269,9	539	0,718	0,928
3000	268,6	526	0,701	0,909

Fuente: Motores Endotérmicos, p.186 Giocasa, Dante (última edición).

Elaboración: Los Autores

A continuación se presenta una tabla de los datos obtenidos en las pruebas realizadas y los cálculos de los parámetros para posteriormente realizar las curvas características.

Tabla 4.5: Valores con biogas

TEST	rpm	TIEMPO (min)	TORQUE(Nm)	ALTURA DEL MANOMETRO (mmH ₂ O)	TEMPERATURA (°C)	POTENCIA (KW)	PRESION MEDIA EFECTIVA AL FRENO (KN/m ²)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (kg/h)	CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO (kg/KW-h)	CONSUMO DE AIRE (kg/h)	RELACION AIRE COMBUSTIBLE A/C	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE REAL (m ³ /s)	CONSUMO VOLUMETRICO DE AIRE TEORICO (m ³ /s)	RENDIMIENTO TERMICO %	RENDIMIENTO VOLUMETRICO %
Nº	N	t	Tq	ho	T	P	PMEF	mc	CECF	ma	A/C	Va	VD	η_t	η_v
1	1400	2,00	1,78	2,5	350	0,26	191,72	0,56	2138,24	2,1	3,77	0,0004535	0,001015	13,76	44,68
2	1600	2,43	1,88	3	360	0,31	202,49	0,46	1455,98	2,3	5,03	0,0004968	0,001160	15,46	42,83
3	1800	2,50	1,98	5,5	370	0,37	213,27	0,45	1196,07	3,1	7,00	0,0006727	0,001305	17,30	51,55
4	2000	1,98	2,08	6,5	380	0,44	224,04	0,56	1291,65	3,4	6,04	0,0007313	0,001450	19,53	50,43
5	2200	1,88	2,18	8	390	0,50	234,81	0,59	1179,85	3,8	6,36	0,0008113	0,001595	22,44	50,86
6	2400	1,60	2,28	8,5	420	0,57	245,58	0,70	1217,22	3,9	5,57	0,0008362	0,001740	26,12	48,06
7	2600	1,45	2,38	16	345	0,65	256,35	0,77	1187,73	5,3	6,92	0,0011473	0,001885	29,37	60,86
8	2800	1,22	2,78	14	320	0,82	299,43	0,92	1125,28	5,0	5,43	0,0010732	0,002030	30,94	52,87
9	3000	1,28	3,18	14,5	320	1,00	342,52	0,87	870,46	5,1	5,83	0,0010922	0,002175	33,15	50,22
10	3200	1,00	3,28	15	330	1,10	353,29	1,12	1015,34	5,2	4,62	0,0011109	0,002320	35,13	47,88
11	3400	0,85	3,38	16,5	370	1,20	364,06	1,31	1090,99	5,4	4,12	0,0011651	0,002465	39,29	47,27
12	3600	0,77	3,68	17	400	1,39	396,37	1,46	1049,25	5,5	3,77	0,0011826	0,002610	42,36	40,6

Elaboración: Los Autores

Potencia Máxima Menor Consumo de combustible 

4.4.1 Curva de Potencia biogas

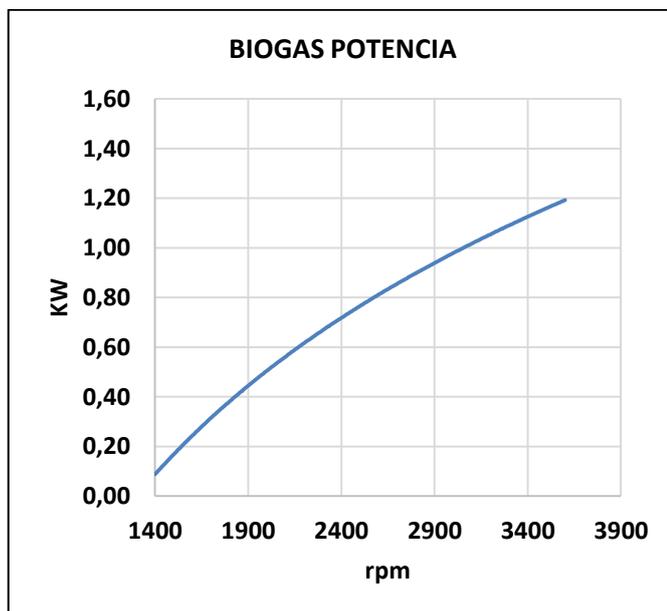


Figura 4.5: Curva de Potencia biogas

Fuente: Los Autores

4.4.2 Curva del Torque

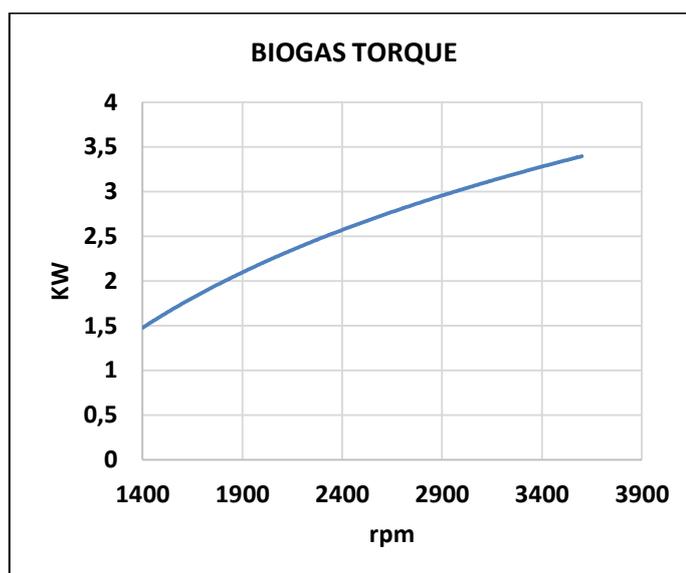


Figura 4.6: Curva del Torque biogas

Fuente: Los Autores

4.4.3 Curva de Consumo de Combustible

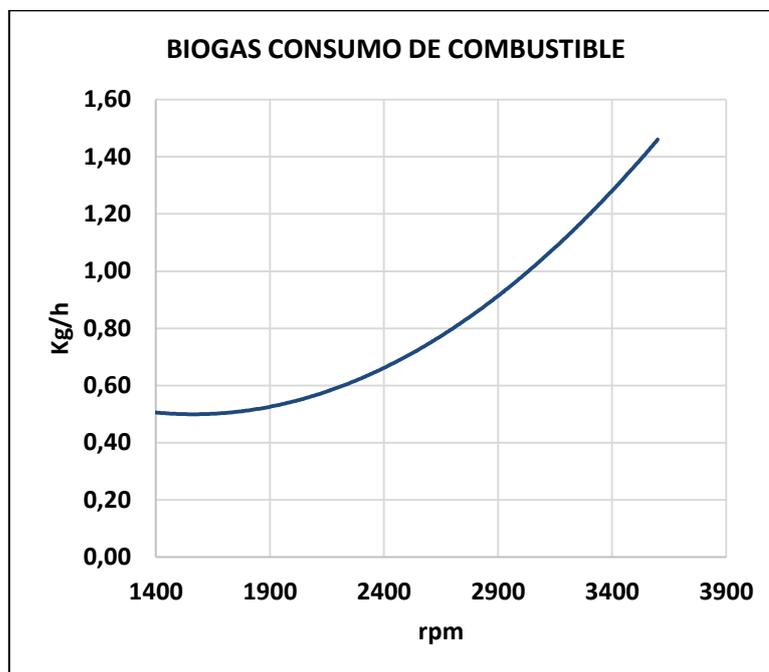


Figura 4.7: Consumo de biogás

Fuente: Los Autores

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta las curvas características de la potencia, torque y consumo, con gasolina y biogás como combustibles de prueba.

4.5.1 Torque

El torque máximo a 3600 rpm es de 3,68 Nm cuando se utiliza biogás, y con gasolina es de 3,88 Nm, por lo que es notorio una disminución del 7.53 % y 2.51 % respectivamente, según datos del fabricante.

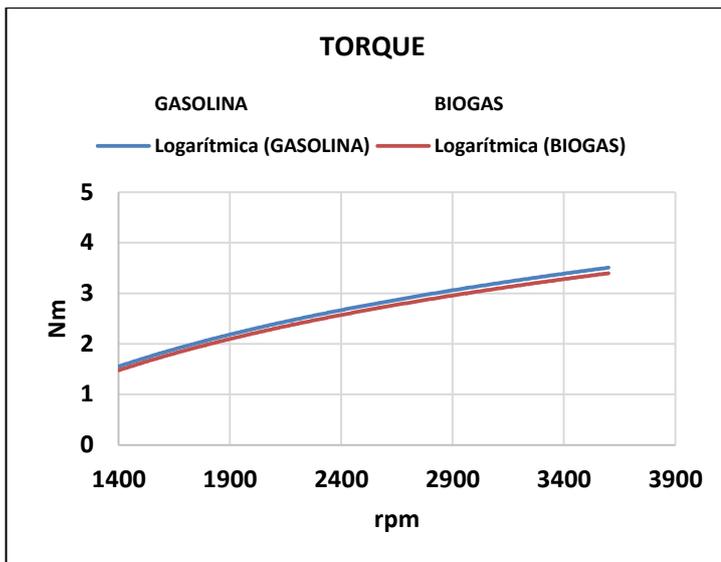


Figura 4.8: Curva de Torque Gasolina y Biogas

Fuente: Los Autores

4.5.2 Potencia

La máxima potencia a 3600 rpm con biogas es de 1,39 KW y cuando se utiliza gasolina es de 1,46 KW, se observa una pérdida de potencia del 18.23 % y 14.11 % respectivamente, según datos del fabricante.

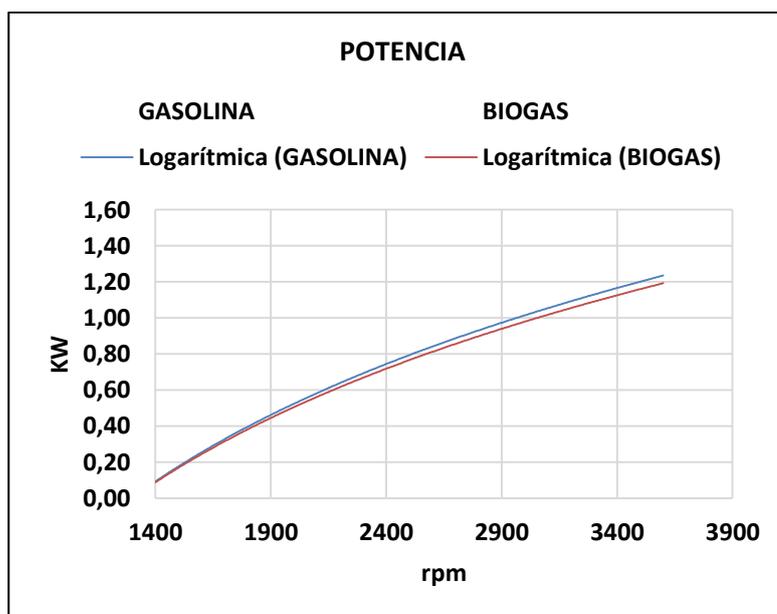


Figura 4.9: Curva de Potencia Gasolina y Biogas

Fuente: Los Autores

4.5.3 Consumo

Se observa una proporcionalidad en el incremento del consumo de combustible en relación al régimen de giro del motor – generador en el consumo de los dos combustibles de prueba, de tal manera que a 2400 rpm se tiene un consumo de 0.45 Kg/h de gasolina y 3600 rpm de 0,93 Kg/h de gasolina, con biogas el motor – generador consume 0,70 Kg/h de biogas a 2400 rpm y 1,39 Kg/h de biogás a 3600 rpm, se tiene un incremento del consumo de combustible que varía entre el 10 al 15 % en función del régimen de giro.

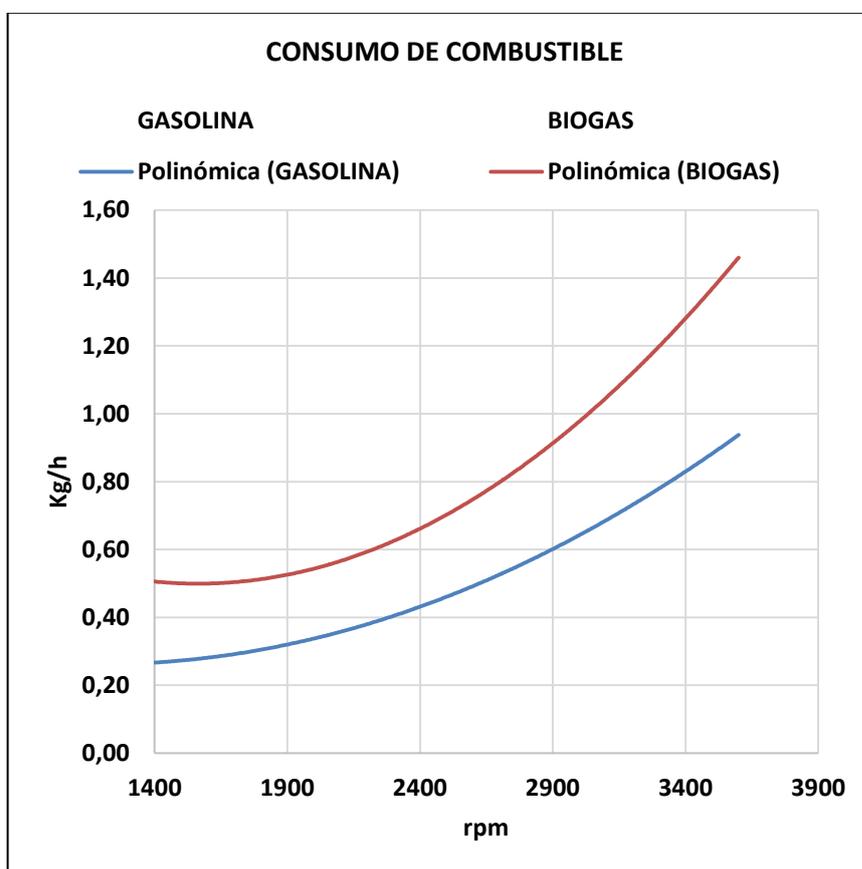


Figura 4.10: Curva del consumo gasolina y biogas

Fuente: Los Autores

Tabla 4.6: Rendimientos Obtenidos

Combustible	Parámetro	Valor	rpm
Gasolina	P (KW)	1,46,	3600
	η_v (%)	31,4	3600
	η_t (%)	25,3	3600
Biogas	P (KW)	1,39	3600
	η_v (%)	40,6	3600
	η_t (%)	42,36	3600

Elaboración: Los Autores

El torque y la potencia descienden al utilizar biogas, por el contrario el consumo de combustible se incrementa notablemente. En los dos casos se puede observar como las curvas decrecen en su rendimiento cuando se utiliza el biogas como carburante para el funcionamiento del motor – generador LUTOOL.

Lo que se refiere a la potencia el máximo valor con gasolina es de 1,46 KW a 3600 rpm mientras que con biogas se reduce a 1,39 KW a 3600 rpm.

El rendimiento volumétrico con gasolina es del 31,4 % a 3600 rpm y con biogas es de 40,6 % a 3600 rpm en los dos casos este rendimiento representa el llenado del cilindro en el tiempo de admisión.

El rendimiento térmico con gasolina es de 25,3 % a 3600 rpm y con biogas de 42,36 % a 3600 rpm, este rendimiento representa la cantidad o porcentaje de poder calórico del combustible o energía química que en realidad se convierte en energía mecánica.

4.6 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES

El análisis de emisiones de gases se realizó utilizando un analizador de gases infrarrojo marca (KAL EQUIP) de propiedad de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Latacunga, el cual permite realizar el análisis de cuatro gases principales como son; CO, CO₂, HC, O₂, el análisis de los

gases combustionados se realizó con el motor - generador LUTOOL en funcionamiento con gasolina y biogás para poder realizar la comparación de los resultados entre los dos combustibles de prueba utilizado en este proyecto.

4.6.1 ANALIZADOR INFRARROJO DE CUATRO GASES

El analizador infrarrojo de cuatro gases (KAL EQUIP), es un equipo de medición diseñado para la prueba rápida y exacta de encendido por chispa, los motores de gasolina a través de la toma de muestras de los cuatro gases presentes en el escape del motor. Los gases de la muestra son: Monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂).

Este equipo es ideal para el control de la eficiencia de la combustión y los niveles de emisión tanto en el convertidor catalítico equipado, y no Conversor de vehículos equipados. Su unidad ha sido cuidadosamente montada, probada y calibrada de fábrica. Tenga en cuenta que la precisión de calibración se ve afectada por la altitud. Se recomienda que si su ubicación es superior a 1.700 sobre el nivel del mar, la sensación de que su instrumento se calibrará con gas antes de su primer uso.



Figura 4.11: Analizador de gases Infrarrojo KAL EQUIP.

Fuente: Laboratorio de Autotrónica

La unidad se suministra con un conducto de veinticinco pies de la muestra y el conjunto de sonda, cubierta de polvo, y el cable de alimentación para conectar a cualquier batería de doce voltios estilo motivo de auto estándar. Los accesorios opcionales incluyen una fuente de alimentación de 115 voltios AC (que elimina la necesidad de una batería de doce voltios), el gas de calibración, y un kit de regulador para este gas.

4.6.2 PROCEDIMIENTO

1. Poner en funcionamiento el motor con la utilización de gasolina.
2. Esperar que el motor alcance su temperatura normal de operación, con la finalidad de que este caliente.
3. Encender el analizador de gases y esperar que este se accione.
4. Calibrar el analizador de gases de escape.
5. Una vez finalizada la calibración del equipo y con el motor ya en funcionamiento, colocar el sensor del analizador en el escape del motor.
6. Oprimir el botón de correr (RUN) del analizador.
7. Esperar un momento hasta que los valores que se visualizan en el analizador se estabilicen, realizar este procedimiento en varias condiciones de rpm del motor.
8. Imprimir los datos estables que se obtienen.
9. Una vez terminadas las mediciones con gasolina, colocar el equipo en espera (stand by) y retirar el sensor.
10. Poner en funcionamiento el motor con biogás como carburante.
11. Esperar que se estabilice el motor y colocar el sensor nuevamente en el escape.
12. Repetir el mismo proceso que se realizó en las pruebas con gasolina.
13. Imprimir los valores obtenidos en cada una de las pruebas respectivamente.
14. Cuando se han terminado las mediciones, retirar el sensor del escape del motor.

15. Apagar el motor y el analizador de gases de escape.



Figura 4.12: Realización del análisis de emisiones de Gases

Fuente: Los Autores

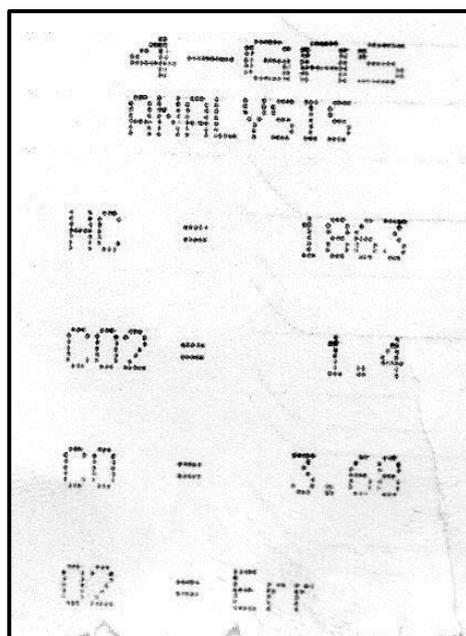


Figura 4.13: Impresión de análisis de emisiones con Gasolina

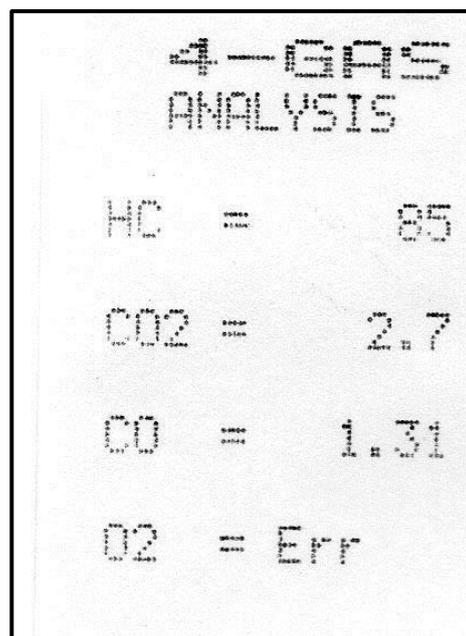


Figura 4.14: Impresión de análisis de emisiones con Biogas

Fuente: Los Autores

4.6.3 TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos indican que al utilizar el biogás como carburante en los motores de combustión interna reduce las emisiones de gases residuales, respecto a las emisiones con gasolina, pues así el biogas combustionado reduce las emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, siendo pues de esta manera un combustible alternativo y amigable con el medio ambiente.

Tabla 4.7: Tabulación de Resultados obtenidos

Gas	Gasolina	Biogas	Rango permitido*
HC (ppm)	1863	85	200
CO₂ (%)	1,4	2,7	4
CO (%)	3,68	1,31	1
O₂ (%)	15	7	5

Fuente: Los Autores

4.6.4 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos al realizar el análisis de emisiones de escape con gasolina y biogas se describen para cada uno de los gases; (HC), (CO₂), (CO), (O₂), y se realiza el estudio con referencia al rango permitido que establece la normativa actual vigente.

Las partículas por millón de (HC) en las emisiones de gases con gasolina es de 1863 ppm y está fuera del rango permitido y con biogas es 85 ppm, lo que demuestra que la gasolina no se combustiona totalmente y con biogas se produce una mejor combustión del carburante. El incremento de (HC) en los residuos de escape se debe al carburante no combustionado, ya sea por mezcla pobre (baja velocidad de inflamación) o por mezcla rica (insuficiente oxígeno).

* NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 204:2002

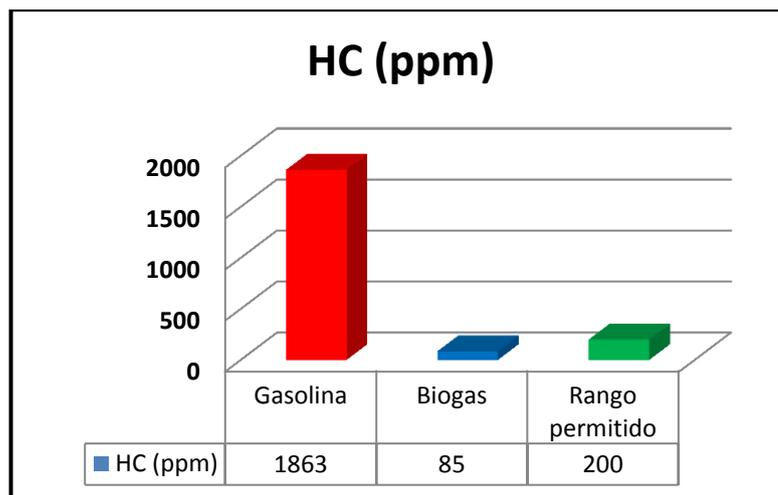


Figura 4.15: Contenido de Hidrocarburos

Fuente: Los Autores

En lo que se refiere al contenido de (CO_2), éste se representa en porcentajes (%). Pues el dióxido de carbono es el resultado natural de la combustión de la mezcla A/C junto con vapor de agua y nitrógeno. Cuanto mejor sea el proceso de combustión más alto será el porcentaje (%) de (CO_2). En este caso con gasolina es (1,4 %) y con biogas es (2,7 %), lo que significa que con biogas se produce una mejor combustión de la mezcla A/C, en los dos casos el contenido de partículas de (CO_2) están dentro del rango permitido que es (4 %).

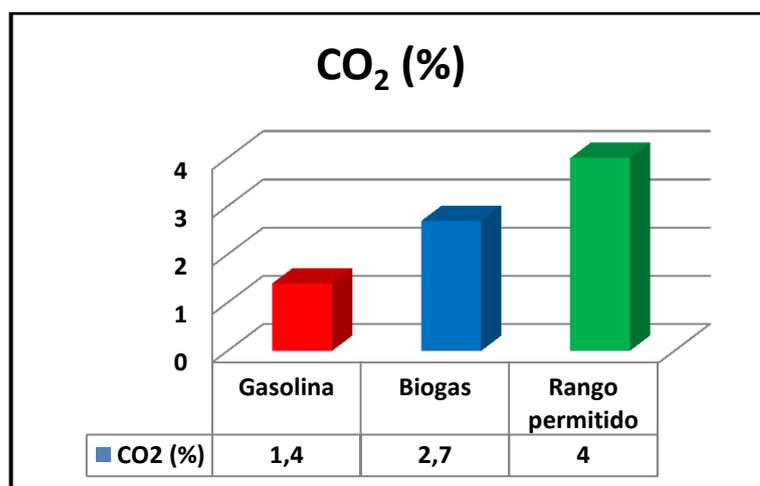


Figura 4.16: Contenido de Dióxido de carbono

Fuente: Los Autores

El contenido de partículas de (CO) se representa en porcentaje (%), y es debido a una combustión incompleta. Es un gas producto de la combustión incompleta, en la que el carbono no encuentra suficiente oxígeno para formar (CO_2). En este caso el contenido de (CO) con gasolina es (3,68 %) y con biogas es (1,31 %), en los dos casos están sobre el rango permitido que es (1 %).

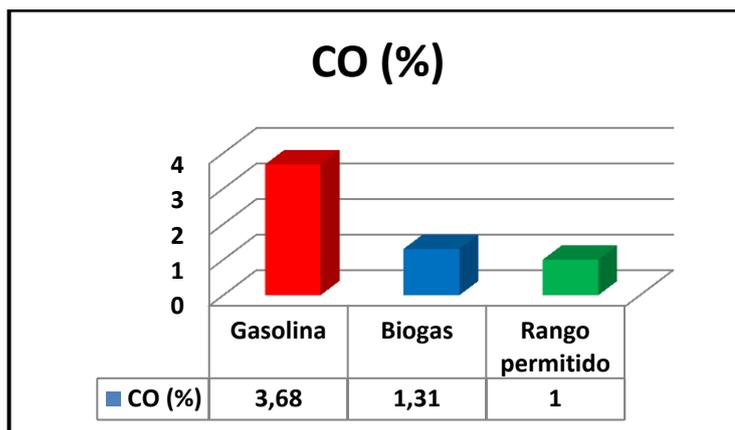


Figura 4.17: Contenido de monóxido de carbono

Fuente: Los Autores

El contenido de oxígeno en los gases de escape indica si la combustión utiliza todo el oxígeno disponible. También indica si hay fugas o entradas de aire en el sistema de escape.

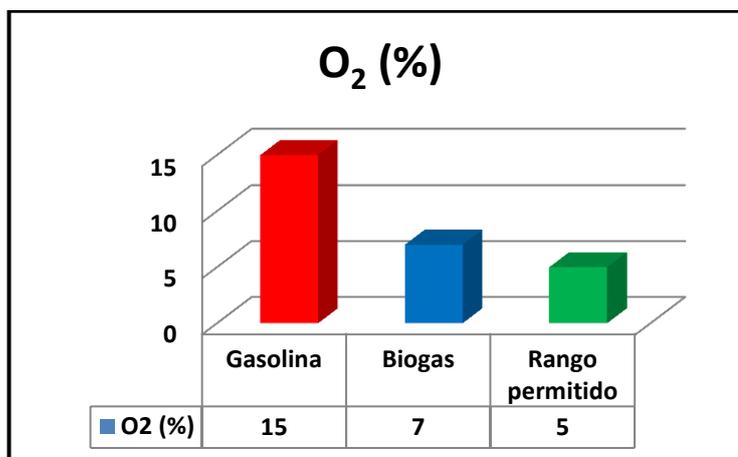


Figura 4.18: Contenido de Oxígeno

Fuente: Los Autores

Es un ingrediente necesario para cualquier combustión. Una mezcla A/C pobre produce una lectura de (O_2) alta y una mezcla A/C rica una lectura de (O_2) baja. En este caso el contenido de (O_2) con gasolina es de (15 %) y con biogas es (7 %) en los dos casos están sobre el rango permitido (5 %).

Finalizado el análisis de los valores obtenidos con la ayuda del analizador de gases infrarrojo (KAL EQUIP), el biogás como carburante en los motores de combustión interna es amigable con el medio ambiente pues tiene una reducción considerable de los residuos de la combustión con referencian a la gasolina, y también el biogas es un combustible alternativo no derivado el petróleo.

CAPÍTULO 5

5. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El generador, es un equipo que convierte la energía mecánica rotativa, en energía eléctrica. Un generador básicamente fuerza electrones en la dinamo para crear una corriente continua (fenómeno de la inducción electromagnética). Por lo tanto, el biogás (metano) energía calórica se convierte en energía mecánica, gracias a un motor de combustión interna, y dicha energía mecánica, a través de un generador, es convertido en electricidad.



Figura 5.1: Generador LUTOOL conectado a la entrada de biogas.

Fuente: Los Autores

La generación de energía de esta planta se realiza mediante el sistema rotor estator, el giro del motor se transmite al eje del rotor mediante la unión por un perno.



Figura 5.2: Perno que une el eje del motor al rotor del generador

Fuente: Los Autores

Rotor.- El rotor o parte móvil del alternador, es el encargado de crear el campo magnético inductor el cual provoca en el bobinado inducido la corriente eléctrica que suministra después el alternador. El rotor está formado a su vez por un eje o árbol sobre el cual va montado el núcleo magnético formado por dos piezas de acero forjado que llevan unos salientes o dedos entrelazados sin llegar a tocarse, que constituyen los polos del campo magnético inductor.



Figura 5.3: Rotor del generador LUTOOL

Fuente: Los Autores

Cada uno de las dos mitades del núcleo llena 6 o 8 salientes. Con lo que se obtiene un campo inductor de 12 o 16 polos. En el interior de los polos, va montada una bobina inductora de hilo de cobre aislado y de muchas espiras, bobinada sobre un carrete material termoplástico.

Estator.- El estator es la parte fija del alternador la que no tiene movimiento y es donde están alojadas las bobinas inducidas que generan la corriente eléctrica. El estator tiene una armazón que está formado por un paquete ensamblado de chapas magnéticas de acero suave laminado en forma de corona circular, troqueladas interiormente para formar en su unión las ranuras donde se alojan las bobinas inducidas.



Figura 5.4: Estator del Generador LUTOOL

Fuente: Los Autores

Los bobinados que forman los conductores del inducido están constituidos generalmente por tres arrollamientos separados y repartidos perfectamente aislados en las 30 ranuras que forman el estator. Estos tres arrollamientos, o fases del alternador, pueden ir conectados según el tipo: en estrella o en triángulo, obteniéndose de ambas formas una corriente alterna trifásica, a la salida de sus bornes. (AFICIONADOS , 2014).

En la siguiente figura de muestra el conjunto (rotor - estator) al momento de realizar el montaje del generador junto al motor de combustión interna para finalmente ponerla en funcionamiento en la Hacienda “San Francisco”, hay que recalcar que no se realizó ninguna modificación al generador de energía eléctrica ni al motor de combustión interna con el afán de realizar el análisis comparativo en el funcionamiento del motor – generador LUTOOL con los dos combustibles de prueba (gasolina – biogas).



Figura 5.5: Rotor y Estator del Generador LUTOOL

Fuente: Los Autores

Para la generación de energía eléctrica utilizando el biogas como carburante en el motor generador se tiene que conectar el enchufe que está instalado al inicio del cable extendido que se mencionó anteriormente seguido hay que seleccionar en el cajetín el modo de funcionamiento a generador y finalmente encender los focos desde el interruptor.



Figura 5.6: Motor-Generador LUTOOL conectado a los Consumidores

Fuente: Los Autores

Se realizó las pruebas previas al funcionamiento del motor-generador, para esta finalidad se elaboró un tablero con 7 focos de 110 Watts y se tomaron las mediciones de voltaje de salida, caída de tensión, con un multímetro y una pinza amperimétrica.



Figura 5.7: Motor-Generador LUTOOL funcionando con gasolina

Fuente: Los Autores

A continuación se presenta la tabla de los valores de las mediciones realizadas.

Tabla 5.1: Valores Medidos con gasolina

Valores medidos cuando el generador funciona con gasolina				
Focos	Potencia	Voltaje	Intensidad	
Unidades	Watts	Voltios	Amperios	
1	110	110	entrada	67,2
2	110	110	1y2	56,2
3	110	110	2y3	47,1
4	110	110	3y4	38,1
5	110	110	4y5	27,0
6	110	110	5y6	16,1
7	110	110	6y7	8,0

Elaboración: Los Autores



Figura 5.8: Motor-Generador LUTOOL funcionando con biogas

Fuente: Los Autores

Los valores medidos cuando el motor-generador funciona con gasolina y biogas son los mismos puesto que el generador da una tensión de 110 Voltios en los dos casos, los focos son de 110 Watts y la caída de tensión pues es la misma.

Tabla 5.2: Valores medidos con biogas

valores medidos cuando el generador funciona con biogas				
Focos	Potencia	Voltaje	Intensidad	
Unidades	Watts	Voltios	Amperios	
1	110	110	entrada	67,2
2	110	110	1y2	56,2
3	110	110	2y3	47,1
4	110	110	3y4	38,1
5	110	110	4y5	27,0
6	110	110	5y6	16,1
7	110	110	6y7	8,0

Elaboración: Los Autores

5.1 INSTALACIÓN EN LA HACIENDA “SAN FRANCISCO”

Del motor – generador instalado en el cuarto de máquinas se extendió el cable que pasa por una perforación, posteriormente se sujeta al poste de concreto que se encuentra a un costado del cuarto de máquinas.



Figura 5.9: Cable Sujeto al Poste de Concreto

Fuente: Los Autores

Para que no se cuelgue el cable se instaló un poste de madera a 40 metros del poste de concreto dejando el cable templado.



Figura 5.10: Cable Extendido al Cajetín

Fuente: Los Autores

Hay que recalcar que la instalación para el alumbrado ya existía en la Hacienda, y en este proyecto no se realizó ningún cambio. Se implementó para que el sistema de alumbrado del comedero funcione con biogás o suministro de la empresa distribuidora de energía eléctrica de la provincia (ELEPCO) si así lo requiere el propietario del lugar. Finalmente llega a un poste instalado a un costado que posteriormente ingresa a un cajetín de control eléctrico.



Figura 5.11: Cajetín

Fuente: Los Autores

En este cajetín se encuentran los contactores que permiten la activación de los focos instalados para su funcionamiento ya sea con la energía de la empresa eléctrica o utilizando el generador con biogás.



Figura 5.12: Componentes del Cajetín

Fuente: Los Autores

El interruptor se encuentra en un poste de madera a la entrada del comedero de los vacunos.



Figura 5.13: Interruptor de Activación de Focos

Fuente: Los Autores

El primer foco se encuentra instalado a la entrada del comedero y los restantes se encuentran instalados a lo largo del comedero que funcionan especialmente dos horas, de 18:30 a 20:30 tiempo en el que los vacunos se alimentan.



Figura 5.14: Comedor; sitio alumbrar

Fuente: Los Autores

CAPÍTULO 6

6. MARCO ADMINISTRATIVO

6.1 RECURSOS

Para la elaboración del presente proyecto fue necesario el empleo de diferentes recursos con el fin de realizar el análisis de rendimiento de un motor de combustión interna con biogas. A continuación se detallan de manera más amplia cada uno de los insumos utilizados.

6.1.1 RECURSOS HUMANOS

Las personas que participaron en el desarrollo e implementación del proyecto son los Sres. Ingenieros Luis Mena (Director del Proyecto) y Leonidas Quiroz (Codirector del Proyecto) y los Sres. Edwin Angamarca y Diego Arequipa, docentes y estudiantes respectivamente de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la carrera de Ingeniería Automotriz.

Tabla 6.1: Recursos humanos

GRUPO DE INVESTIGACIÓN	Luis Mena	Director de proyecto
	Leonidas Quiroz	Codirector de proyecto
	Edwin Angamarca	Elaborador de proyecto
	Diego Arequipa	Elaborador de proyecto

Elaboración: Los Autores

6.1.2 RECURSOS TECNOLÓGICOS

Para el correcto desarrollo del proyecto se utilizaron los equipos y herramientas detallados a continuación.

Tabla 6.2: Recursos Tecnológicos

INVESTIGACIÓN	
HERRAMIENTAS	Internet
	Computadores
	Libros
CONSTRUCCIÓN	
EQUIPOS Y HERRAMIENTA	Torno
	Cierra Manual
	Juego de destornilladores
	Juego de llaves
	Rachas
	Taladro
	Martillo
	Punzón
Amoladora	
PRUEBAS DE RENDIMIENTO GASOLINA	
EQUIPO	Dinamómetro Hidráulico
	Tablero eléctrico
	Probeta
	Medidor de vacío placa orificio
Termocupla	
PRUEBAS DE RENDIMIENTO BIOGAS	
EQUIPO	Dinamómetro Hidráulico
	Tablero eléctrico
	Caudalímetro
	Medidor de vacío placa orificio
	Soplador
	Filtro de H ₂ S
	Termocupla
Tacómetro	
ANÁLISIS DE EMISIONES GASES	
EQUIPO	Analizador Infrarrojo de gases
	Sonda
	Fuente de energía
	Impresora

Elaboración: Los Autores

6.1.3 RECURSOS MATERIALES

A continuación se detalla los materiales que se utilizaron para la elaboración del proyecto.

Tabla 6.3: Recursos Materiales

Nro.	Materiales
1	Cilindro de aluminio
2	Manguera de agua
3	Tubería PVC ½ plg
4	Codo PVC ½ plg
5	Unión PVC ½ plg
6	Llaves de paso ½ plg
7	Reducción de ½ a 3/8 plg
8	Pega PVC
9	Unión galvanizado de 25 cm.
10	Reducción galvanizada de (1 a ½) plg
11	Codo galvanizado de 1 plg.
12	Contactores de 16 A
13	Braker de 10 A
14	Interruptor de 3 posiciones de 15 A
15	Cable calibre 10
16	Focos de 45W
17	Motor - generador LUTOOL
18	Amarras plásticas
19	Abrazaderas
20	Clavos galvanizados
21	Aceite para motor 20W50
22	Gasolina
23	Collarín de (2 a ½) plg
24	Biogas

Elaboración: Los Autores

6.2 COSTO DE INSTALACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE BIOGAS

Para la de instalación para la generación de energía eléctrica a base de biogas Se adquirió varios materiales eléctricos, metalmecánicos a demás insumos que se detallan en la siguiente tabla con sus respectivos costos.

Tabla 6.4: Costos de instalación para la generación de energía eléctrica

TABLA DE COSTOS				
Nº	MATERIALES	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL PARCIAL
1	Cilindro de aluminio	1 U	20,00	20,00
2	Manguera de agua	10 m	0,80	8,00
3	Tubería PVC ½ plg	3 U	12,00	36,00
4	Codo PVC ½ plg	10 U	0,50	5,00
5	Unión PVC ½ plg	5 U	0,40	2,00
6	Llaves de paso ½ plg	2 U	3,50	7,00
7	Reducción de (½ a 3/8) plg	1 U	1,00	1,00
8	Pega PVC	¼ lt.	1,00	1,50
9	Unión galvanizado de 25 cm	1 U	3,00	3,00
10	Reducción galvanizada de (1 a ½) plg	1 U	4,00	4,00
11	Codo galvanizado de 1 plg	1 U	2,00	2,00
12	Contactores de 16 A	2 U	15,00	30,00
13	Braker de 10 A	1 U	7,00	7,00
14	Interruptor de 3 posiciones de 15 A	1 U	3,00	3,00
15	Cable calibre 10	70 m	1,57	110,00
16	Focos de 45 W	6 U	10,00	60,00
17	Motor generador LUTOOL	1 U	300,00	300,00
18	Amarras plásticas	1 paquete	1,00	1,00
19	Abrazaderas	10 U	0,30	3,00
20	Clavos galvanizados	10 U	0,10	1,00
21	Aceite para motor 20W50	¼ gl.	10,00	10,00
22	Gasolina	8 gl.	1,48	11,48
23	Collarín de (2 a ½) plg	1 U	7,00	7,00
TOTAL				632,98

Elaboración: Los Autores

Tabla 6.5: Gasto total del proyecto presentado

DESCRIPCIÓN	COSTO
Instalación	632,98
Otros (Transporte, internet, copias, empastados, anillados, etc.)	400,00
Imprevistos	110,00
TOTAL	1142,98

Elaboración: Los Autores

6.3 FINANCIAMIENTO

Los costos en los que se incurrió para la elaboración y puesta en marcha del proyecto fueron asumidos por los autores Edwin Angamarca y Diego Arequipa.

6.4 CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	DEPENDENCIA	MES																	
			MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
APROBACION TEMA Y PLAN	CONSEJO ACADEMICO	SI	■																	
REDACCIÓN CAPITULO 1	EDWIN-PAUL	SI		■																
INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES BÁSICAS	EDWIN-PAUL	SI		■																
REDACCIÓN CAPITULO 2	EDWIN-PAUL	SI			■	■														
MARCO TEÓRICO	EDWIN-PAUL	SI			■	■														
REDACCIÓN CAPITULO 3	EDWIN-PAUL	SI					■	■												
SELECCIÓN Y ADAPTACION DEL MOTOR - GENERADOR A BIOGAS	EDWIN-PAUL	SI					■	■												
REDACCIÓN CAPITULO 4	EDWIN-PAUL	SI							■	■										
PRUEBAS Y ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO	EDWIN-PAUL	SI							■	■										
REDACCIÓN CAPITULO 5	EDWIN-PAUL	SI									■	■								
GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DE BIOGÁS EN LA HACIENDA "SAN FRANCISCO"	EDWIN-PAUL	SI									■	■								
REDACCIÓN CAPITULO 6	EDWIN-PAUL	SI											■	■						
MARCO ADMINISTRATIVO	EDWIN-PAUL	SI											■	■						
REDACCIÓN CAPITULO 7	EDWIN-PAUL	SI													■					
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	EDWIN-PAUL	SI													■					
CORRECCION DE LA REDACCIÓN	EDWIN-PAUL	SI														■	■			
DEFENSA DE TESIS	EDWIN-PAUL	SI																■	■	

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El motor – generador LUTOOL para el funcionamiento con biogas requiere la adaptación de un regulador de ingreso de biogas, un manómetro de presión y un mezclador aire / biogas en el sistema de alimentación de tal manera de lograr su máximo rendimiento, con una relación aire / combustible de 10,4:1
- Para el diseño del mezclador se tiene que considerar algunos parámetros como la Cantidad de aire admitido, la Eficiencia volumétrica, la Cilindrada unitaria, revoluciones del motor y tipo de motor. De tal manera de poder determinar las velocidades de ingreso y salida de la mixtura A/C en el mezclador en función del número de MACH para biogas para lograr un flujo turbulento para lograr una eficiencia volumétrica con biogas de 60,88 % a 3600 rpm representando el llenado del cilindro.
- La relación aire/combustible de 13:1 se obtiene a partir del número de moles necesarios para la combustión de manera eficiente el biogas. Considerando que 1 mol de oxígeno está contenido en 138 gr de aire, así tendremos una mezcla más rica. Determinado el área requerida para el paso de biogas de 5.2 mm².
- El rendimiento del motor – generador se efectuó en base al torque y potencia alcanzados por el motor funcionando con biogas mediante un BANCO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO TecQuipment TD II4 y cálculos realizados de los que se pudo determinar que existe una disminución 7.53 % y 18.23 % respectivamente, en comparación con datos del fabricante en régimen de giro de 3600 rpm donde logra su máximo rendimiento.
- Existe una proporcionalidad en el incremento del consumo de combustible en relación al régimen de giro del motor – generador con

dos combustibles de prueba, se tiene un incremento del consumo de combustible que varía entre el 10 al 15 % cada incremento de 200 rpm.

- El biogás es un combustible amigable con el ambiente en lo que se refiere al contenido de dióxido de carbono con un 2.7 %, monóxido de carbono con una 1.31 % y partículas por millón de hidrocarburos no combustionados igual a 85, que es el resultado de una combustión adecuada de la mezcla A/C con biogás y que está dentro de los rangos permitidos según la Norma técnica NTE INEN 2 204:2002 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTI”. PRUEBA ESTÁTICA.
- La selección del motor – generador logro satisfacer la demanda de energía eléctrica de la Hacienda “San Francisco” cuando este funcionó con biogás como fuente de energía, a pesar de la disminución de torque y potencia que dio como resultado, pues no registro una variación en la tensión de salida del generador.

7.2 RECOMENDACIONES

- Utilizar una relación gasolina – biogás en proporciones que optimicen el rendimiento en un motor de combustión interna ciclo OTTO, en la que disminución de torque y potencia no afecte el desempeño y las prestaciones del motor – generador.
- Determinar el rendimiento en motores de combustión interna ciclo diésel en proporciones que satisfagan la demanda de energética y aplicaciones de estos.
- Estandarizar los procesos de producción y almacenamiento de biogás de tal forma de conseguir una un mayor porcentaje de metano CH₄ que favorezca el uso de este combustible como fuente de energía en aplicaciones domesticas e industriales.
- Establecer normativas nacionales para el uso del biogás en aplicaciones automotrices, domesticas e industriales como carburante

en base a los requerimientos técnicos de las diferentes aplicaciones, de tal manera que garanticen seguridad al utilizarlo como fuente de energía.

- Establecer normativas nacionales para aplicaciones automotrices en motores de combustión interna en la que se especifique parámetros técnicos mínimos de las adaptaciones así como de los componentes en el sistema de alimentación.
- Determinar el rendimiento en motores diseñados y manufacturados con sistemas de alimentación para el uso con combustibles gaseosos como combustibles primarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. Diseño de un Biodigestor Para El Tratamiento de Aguas Residuales Y Producción de Biogas Para Su Aprovechamiento en el Nuevo Campues de la ESPE Extensión Latacunga. Proyecto Previo A La Obtención del Título de Ingeniero En Electromecánica. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- ARIAS, P. La Biblia de la Mecánica (Última Edición) .Madrid,La Coruña: Cie Dossat.
- BAQUERO, M., & AVILA, O. (2008). Automatizacion y diseño del sistema mezclador de combustible en vehículos con equipos de conversion a gas natural. Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de diseño y automatización electrónica. Bogota.
- CABRERA, G. (2012). Parametros de Desempeño de Motores De Combustion Interna . Folleto. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CALERO Andres; NACIMBA Christian. (2011). Generacion de gas metano a partir de desechos orgánicos y aplicación en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero Automotriz. Latacunga, Cotopaxi.
- CAMPS, M., & MARCOS, F. (2008). Los Biocombustibles. Madrid,Barcelona ,México.Eitorial Mund Prensa
- CHIRIBOGA, O. (2010). Desarrollo del Proceso De Produccion de Biogas y Fertilizante Organico a Partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas. Tesis de Grado Presentada como Requisito Para La Obtencion de Ingeniero Quimico . Quito, Pichincha, Ecuador.
- CROUSE, W. H. (Última Edicion). Sistemas de Alimentación de Combustible, Lubricación y Refrigeración del Automovil. Barcelona-México: boixareu.
- CROUSE, W. (Ultima Edicion). Mecánica de la Motocicleta. Barcelona: Marcombo.
- DE CASTRO, M. (Edicion Actualizada). Carburadores. España: Ediciones CEAC S.A.
- GRUPO AQUALIMPIA CONSULTORES. (2010). Construcción de una planta de biogas para la instalación de una unidad de generación de 70 kW. Quito, Pichincha, Ecuador.
- otros, G. y. (s.f.). Tecnologa del Automovil tomo II. Barcelona : Reverte S.A.

PAYRI, F., & DESANTES, J. (2011). Motores de Combustión Interna Alternativos. Valencia: REVERTÉ.

NETGRAFÍA

Aficionados , M. Aficionados a la mecánica. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecánica.net/alternador-funcionam.htm> [Revisado el 15-05-2014]

Aqualimpia. Grupo Aqualimpa Consultores . Obtenido de <http://www.aqualimpia.com/PDF/SOPLADORES.pdf> [04/12/2013]

Bernero, T. (2011). Obtenido de http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/manual_biogas.pdf [Revisado el 11-06-2013]

Camps, M., & MARCOS, F. (2008). Los Biocombustibles. Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas/at_multi_download/file/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf [Revisado el 07-04-2014]

Chungandro, K., & MANITIO, G. (12 de Febrero de 2010). Obtenido de Biblioteca Virtual de la Escuela Politecnica Nacional: bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf [Revisado el 13-09-2013]

De monroy, C. (1 de 09 de 2012). Wikispaces. Obtenido de Wikispaces: <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Refrigeracion.pdf> [Revisado el 15-12-2013]

ebookbrowse.net. (Diciembre de 2012). Obtenido de <http://ebookbrowse.net/bd-san-francisco-pdf-d429942035> [Revisado el 27-05-2014]

Hernández, E., SAMAYOA, S., ALVAREZ, E., & TALAVERA, C. (Enero de 2012). Obtenido de Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo en Honduras: http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/library/environment_energy/estudio-biogas/ [Revisado el 22-04-2014]

Ingeniería, F. d. (2014). Instituto de Motores de Combustion Interna . Obtenido de http://www.motores.uni.edu.pe/pry_01.html [Revisado el 13-06-2014]

- Joaquin, V. (16 de 06 de 2010). Viogaz.com. Obtenido de <http://www.viogaz.com/downloads/Remocion%20de%20H2S%20en%20el%20biogas.pdf> [Revisado el 18-09-2013]
- Lira, J. (10 de Agosto de 2012). Sistema de Alimentacion de Biogas de un Motor de Combustion Interna. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/102573516/Trabajo-Ganador-Xix-Conimera> [Revisado el 29-01-2014]
- Nossovitich, P. y. (2010). NOSSO ELECTROPARTES. Obtenido de http://www.nosso.com.ar/spanish/tech_topics/sistemas_ignicion01.php [Revisado el 25-08-2013]
- Protecma Ingenieria Sostenible. Obtenido de http://www.protecma.es/index.php?option=com_content&view=article&id=67&Itemid=85&lang=es [Revisado el 14-06-2014]
- Reserved., C. ©.-2. (Diciembre de 2011). Magazines & Newsletters / ASTM Standardization News. Obtenido de http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND11/d0307_spnd11.html [Revisado el 16-03-2014]
- Río, U. d. (08 de 09 de 2007). monografias.com. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos48/biomasa/biomasa2.shtml> [Revisado el 15-04-2014]
- Tiempo, D. Diario el Tiempo. Obtenido de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/123899-todo-listo-para-generar-electricidad-con-bioga-s/> [Revisado el 20-06-2013]
- Todomotores.com. (2013). Todomotores.com. Obtenido de http://www.todomotores.cl/mecanica/eficiencia_termica.htm [Revisado el 28-05-2014]

ANEXOS