



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE
COMBUSTIBLE *GEET* PARA UN MOTOR CICLO OTTO, Y
PRUEBAS DE TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE
COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTE”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

TUTOR:

Riobamba-Ecuador

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE: El Trabajo de Titulación modalidad Proyecto Experimental, titulado “DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE GEET PARA UN MOTOR CICLO OTTO, Y PRUEBAS DE TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTE”, de responsabilidad del Sr., ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

DIRECTOR

FIRMA

MIEMBRO

FIRMA

DOCUMENTALISTA

FIRMA

Riobamba, .

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, , declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyecto Experimental, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, 17 de Agosto del 2016.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
CAPÍTULO I	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Problema	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1. <i>Objetivos General</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i>	3
CAPITULO II	
2. EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	4
2.1 El MCI a nivel mundial.....	4
2.2 El MCI en Ecuador.....	6
2.3 Motor de combustión interna de media potencia	8
2.4 Motores de combustión interna	9
2.4.1 <i>Generalidades</i>	9
2.4.2 <i>Clasificación de los motores de combustión interna según el tipo de encendido</i>	9
2.4.3 <i>Clasificación de los motores de combustión interna, según el ciclo de trabajo</i>	10
2.4.4 <i>Estructura y Funcionamiento</i>	10
2.5 Motor de combustión interna ciclo OTTO	10
2.5.1 <i>Termodinámica del motor OTTO</i>	11
2.5.1.1 <i>Análisis termodinámico del ciclo OTTO</i>	12
2.5.2 <i>Sistemas de los motores ciclo OTTO</i>	14
2.5.2.1 <i>Cámara de combustión</i>	14
2.5.2.2 <i>Sistema de alimentación</i>	14
2.5.2.3 <i>Sistema de encendido</i>	15
2.5.2.4 <i>Sistema de arranque</i>	16
2.5.2.5 <i>Sistema de distribución</i>	17
2.5.2.6 <i>Sistema de refrigeración</i>	17
2.5.3 <i>Magnitudes principales de los motores de combustión interna</i>	18
2.5.3.1 <i>Par motor</i>	18
2.5.3.2 <i>La Potencia</i>	19

2.5.3.3	<i>Consumo específico de combustible</i>	20
2.5.4	<i>Sistema de alimentación de los motores ciclo OTTO</i>	20
2.5.4.1	<i>Sistema de inyección mecánica a carburador</i>	21
2.5.4.2	<i>Principio del carburador</i>	21
2.5.4.3	<i>Configuración básica del carburador</i>	21
CAPÍTULO III23		
3.	SISTEMA <i>GEET</i>	23
3.1	Introducción	23
3.2	Cronología del sistema <i>GEET</i>	23
3.3	Mecánica y fundamentos del sistema <i>GEET</i>	27
3.4	Elementos del sistema <i>GEET</i>	29
3.5	Resultados obtenidos en investigaciones del sistema <i>GEET</i>	30
CAPITULO IV		
4.	CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR EMISIONES VEHICULARES	33
4.1	Problemática.....	33
4.2	Situación Nacional	33
4.2.1	<i>Políticas Básicas Ambientales del Ecuador</i>	34
4.2.2	<i>Límites permisibles de contaminación en el Ecuador</i>	34
4.2.3	<i>Análisis de los gases de escape en los motores de combustión interna</i>	35
4.2.4	<i>Gases Inofensivos para la salud de los humanos</i>	36
4.2.4.1	<i>Nitrógeno</i>	36
4.2.4.2	<i>Oxígeno</i>	36
4.2.4.3	<i>Vapor de agua</i>	37
4.2.4.4	<i>Dióxido de Carbono</i>	37
4.2.5	<i>Gases Contaminantes</i>	37
4.2.5.1	<i>Hidrocarburos</i>	37
4.2.5.2	<i>Monóxido de Carbono</i>	37
4.2.5.3	<i>Plomo</i>	38
4.2.5.4	<i>Partículas de hollín</i>	38
4.2.5.5	<i>Óxidos de azufre</i>	38
4.2.5.6	<i>Óxidos de nitrógeno</i>	39
4.3	Sistemas y nuevos combustibles creados para la reducción de emisiones contaminantes producidas por el motor.....	39
4.3.1	<i>Sistemas actualmente en el mercado que reducen las emisiones contaminantes</i>	39
4.3.2	<i>Aditivos para combustible</i>	40
4.3.3	<i>Calizadores</i>	40
4.3.4	<i>Válvula EGR (recirculación de gases de escape)</i>	41

4.4	Sistemas del futuro.....	41
4.4.1	<i>Vehículo con pilas de hidrogeno</i>	41
4.5.2	<i>Vehículo solar</i>	42
4.4.3	<i>Vehículos eléctricos</i>	43
CAPITULO V		
5.	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA <i>GEET</i>	44
5.1	Introducción.....	44
5.2	Equipos e instrumentación técnica disponible para la investigación.....	44
5.2.1	<i>Herramientas:</i>	44
5.2.2	<i>Equipos:</i>	45
5.2.3	<i>Insumos o fungibles:</i>	45
5.2.4	<i>Descripción de equipos</i>	46
5.3	Diseño de los prototipos <i>GEET</i> y acople al motor de combustión interna.....	49
5.3.1	<i>Requerimientos del sistema, parámetros de diseño</i>	49
5.3.1.1	<i>Características técnicas del motor de 900cc.</i>	50
5.3.1.2	<i>Consideraciones técnicas para el diseño del sistema <i>GEET</i></i>	51
5.3.2	<i>Accesorios para la construcción del sistema <i>GEET</i></i>	53
5.3.3	<i>Construcción de los subsistemas del sistema <i>GEET</i></i>	55
5.3.3.1	<i>Construcción del reactor</i>	55
5.3.3.2	<i>Construcción del burbujeador</i>	58
5.3.3.3	<i>Construcción del acople de admisión</i>	58
5.3.3.4	<i>Construcción del acople de escape</i>	60
5.3.4	<i>Implementación del sistema <i>GEET</i> en el motor de 900 cc</i>	61
5.4	Fundamentación y justificación de variables técnicas que intervienen en el sistema <i>GEET</i>	64
5.4.1	<i>Variables de Medición</i>	65
5.4.1.1	<i>MCI Sin el Sistema <i>GEET</i></i>	65
5.4.1.2	<i>MCI Con el Sistema <i>GEET</i></i>	65
5.4.2	<i>Pruebas aleatorias para encontrar el tamaño del Reactor <i>GEET</i> más eficiente.</i>	65
5.4.3	<i>Pruebas aleatorias para encontrar la relación agua-gasolina para el sistema <i>GEET</i></i> ..	66
5.4.4	<i>Temperatura superficial del sistema <i>GEET</i></i>	67
5.5	Pruebas y análisis de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes del sistema de alimentación de combustible <i>GEET</i> en el motor de 900cc.....	68
5.5.1	<i>Prueba y Análisis de torque, potencia con y sin sistema <i>GEET</i></i>	68
5.5.1.1	<i>Pruebas de torque y potencia con y sin sistema <i>GEET</i></i>	68
5.5.1.2	<i>Análisis de potencia y torque con y sin sistema <i>GEET</i></i>	71

5.5.2	<i>Prueba Y Análisis de emisiones de gases contaminantes con y sin sistema GEET</i>	72
5.5.2.1	<i>Pruebas de emisiones contaminantes con y sin sistema GEET</i>	72
5.5.2.2	<i>Análisis de emisiones contaminantes con y sin sistema GEET</i>	74
5.5.3	<i>Pruebas y análisis de consumo de combustible con y sin sistema GEET</i>	78
5.5.3.1	<i>Pruebas de consumo de combustible con y sin sistema GEET</i>	78
5.5.4	<i>Análisis de consumo de combustible con y sin sistema GEET</i>	82
5.5.5	<i>Balance Estequiométrico</i>	83
5.5.6	<i>Resultados preliminares del sistema GEET</i>	88
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2. Potencia efectiva en el Ecuador	7
Figura 2-2. Demanda de energía en el Ecuador por sectores.....	7
Figura 3-2. Funcionamiento del motor de combustión interna.....	9
Figura 4-2. Tipos de encendido del MCI.....	10
Figura 5-2. Motor de 4 tiempos encendido por chispa	11
Figura 6-2. Ciclo OTTO	12
Figura 7-2. Cámara de combustión.....	14
Figura 8-2. Sistema de alimentación.....	15
Figura 9-2. Sistema de encendido	16
Figura 10-2. Sistema de encendido	16
Figura 11-2. Sistema de distribución	17
Figura 12-2. Sistema de refrigeración.....	18
Figura 13-2. Mecanismo Biela-manivela.....	19
Figura 14-2. Principio del carburador	21
Figura 15-2. Construcción básica de un carburador	22
Figura 1-3. Estévez Varela y su sistema acoplado a una motocicleta	25
Figura 2-3. Esquema básico del sistema GEET.....	27
Figura 3-3. Diagrama de funcionamiento del sistema GEET.....	28
Figura 4-3. Elementos del sistema GEET.....	30
Figura 5-3. Sistema GEET acoplado a maquinaria agrícola y helicópteros	30
Figura 6-3. Sistema <i>GEET</i> acoplado a un MCI de baja potencia	31
Figura 7-3. Experiencia realizada en la Universidad Nacional de Loja	31
Figura 1-4. Crecimiento del parque automotor.....	33
Figura 2-4. Composición de los gases de escape en motores de gasolina	36
Figura 3-4. Conversión de los gases de escape en un catalizador	41
Figura 4-4. -Recirculación de gases de escape	41
Figura 5-4. Vehículos con pila de hidrogeno.....	42
Figura 6-4. Vehículo solar	42
Figura 7-4. Vehículo Eléctrico.....	43
Figura 1-5. Talleres Automotriz FINECAR y Auto Extreme Racing	45
Figura 2-5. Anemómetro.....	46
Figura 3-5. Analizador de gases	46

Figura 4-5. Dinamómetro de rodillo	47
Figura 5-5. Gato hidráulico.....	47
Figura 6-5. Manómetro y Vacuómetro	47
Figura 7-5. Motor de Combustión Interna de 900cc.....	48
Figura 8-5. Medidor de volumen	48
Figura 9-5. Cronometro	49
Figura 10-5. Flujograma del funcionamiento del sistema <i>GEET</i>	52
Figura 11-5. Subsistemas del Sistema <i>GEET</i>	53
Figura 12-5. Tipos de reactores	55
Figura 13-5. Construcción de los reactores A, B y C	56
Figura 14-5. Mecanizado y cromado de los tubos de 1'' y ½''	56
Figura 15-5. Apoyos soldados y pulidos	57
Figura 16-5. Construcción de los elementos para el reactor A, B y C.....	57
Figura 17-5. Burbujeador de 5300 cm ³ de capacidad.	58
Figura 18-5. Conexión del acople de admisión desde el motor al carburador.....	59
Figura 19-5. Construcción de las placas para el acople de admisión	59
Figura 20-5. Vista general del acople de admisión.....	60
Figura 21-5. Ensamble del acople de escape en el motor	60
Figura 22-5. Ensamble del acople de escape al múltiple de escape	61
Figura 23-5. Ensamble del acople de escape al reactor	61
Figura 24-5. Desmontaje de los pernos del tapa válvulas y soporte de fijación del reactor	62
Figura 25-5. Acople de escape para el sistema <i>GEET</i>	62
Figura 26-5. Montaje del reactor en los soportes de fijación.....	63
Figura 27-5. Montaje del reactor al acople de admisión.....	63
Figura 28-5. Desmontaje del tanque reservorio de agua del parabrisas	63
Figura 29-5. Acople del buerbujeador en el chasis.....	64
Figura 30-5. Montaje del reactor con el burbujeador	64
Figura 31-5. Temperatura superficial del sistema	68
Figura 32-5. Dinamómetro de rodillos y su hardware.	69
Figura 33-5. Ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.....	69
Figura 34-5. Sistema de seguridad.....	69
Figura 35-5. Gráfico de potencia y torque sistema original	70
Figura 36-5. Gráfico de potencia y torque sistema hibrido	70

Figura 37-5. Potencia original vs hibrida.....	71
Figura 38-5. Torque original vs hibrido.....	72
Figura 39-5. Analizador de gases MGT5.....	73
Figura 40-5. Sonda del analizador de gases MGT5.....	73
Figura 41-5. RPM vs CO	75
Figura 42-5. RPM vs CO2	76
Figura 43-5. RPM vs ppm HC	77
Figura 44-5. Torque vs consumo vs potencia de un motor Suzuki estándar	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-4. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).....	34
Tabla 2-4. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).....	35
Tabla 3-4. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	35
Tabla 1-5. Características técnicas del vehículo Suzuki Forza 1.	50
Tabla 2-5. Datos obtenidos en la múltiple admisión.....	51
Tabla 3-5. Datos obtenidos en el múltiple escape.....	51
Tabla 4-5. Accesorios para la construcción del reactor	53
Tabla 5-5. Accesorios para la construcción del burbujeador	54
Tabla 6-5. Accesorios para la construcción del acople de admisión.....	54
Tabla 7-5. Accesorios para la construcción del acople de escape.....	55
Tabla 8-5. Accesorios para conectar los distintos subsistemas entre si	55
Tabla 9-5. Variación en los reactores para pruebas experimentales	58
Tabla 10-5. Pruebas aleatorias para seleccionar el tamaño de reactor GEET.....	66
Tabla 11-5. Pruebas experimentales para seleccionar cantidad gasolina-agua.....	66
Tabla 12-5. Temperaturas Superficiales del fluido en varios puntos del sistema GEET.....	67
Tabla 13-5. Valores de torque y potencia obtenidos.....	71
Tabla 14-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema original.....	74
Tabla 15-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema hibrido.....	74
Tabla 16-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema GEET % de cierre de válvula de escape.....	74
Tabla 17-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema GEET a 1200 RPM.....	74
Tabla 18-5. Valores comparativos de emisiones contaminantes de los sistemas GEET, Híbrido, Original con la NTE INEN 2 201:2002	78
Tabla 19-5. Consumo de combustible Motor de Fabrica.....	80
Tabla 20-5. Consumo del motor con el sistema de alimentación GEET	81
Tabla 21-5. Consumo del motor sistema Híbrido (GEET+ Carburador).....	81
Tabla 22-5. Sistema de alimentación original vs. Sistema de alimentación hibrido.....	82
Tabla 23-5. Sistema de alimentación original vs. Sistema de alimentación GEET	82

INDICE DE ANEXOS

- A. Planos Constructivos Reactor A.
- B. Planos constructivos del Reactor B.
- C. Planos constructivos del Reactor C.
- D. Planos constructivos del Burbujeador.
- E. Planos constructivos del Acople de Escape.
- F. Planos constructivos del Acople de Admisión.
- G. Plano Ensamble Total.
- H. Vistas Principales del Ensamble Total.
- I. Mediciones Registradas por el Analizador de Gases para el sistema GEET.
- J. Mediciones Registradas por el Analizador de Gases para el sistema hibrido.
- K. Mediciones Registradas por el Analizador de Gases para sistema original.
- L. Mediciones registradas por el dinamómetro para el sistema hibrido.
- M. Mediciones registradas por el dinamómetro para el sistema original.

RESUMEN

SUMMARY

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El consumo de combustibles fósiles es muy elevado El parque automotor es uno de los principales productores de contaminación en el planeta los cuales son perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

Es por esto que ha mejorado las tecnologías para reducir las causas de contaminación del aire producida por los automóviles los sistemas OBD (ON BOARD DIAGNOSTIC - DIAGNOSTICO A BORDO) fueron implementados en todos los modelos de automóviles a partir de 1966 para controlar la polución. En la actualidad son comunes los vehículos con tecnologías diferentes: la carrocería va forrada por costosas celdas solares lo impulsan pesadas baterías o celdas de combustible de costo elevado. El precio del petróleo es menor que otro tipo de energía y existe una enorme infraestructura económica por lo tanto el combustible fósil es y continuara siendo la fuente principal de energía de los automóviles, todo indica que lo más fiable es incrementar su eficiencia y que rinda más con menor combustible localizando las diferencias energéticas que aporta cada uno.

Al igual que el resto del mundo Ecuador requiere contar con ideas aplicables en la búsqueda de alternativas que contribuyan a proteger el medio ambiente en especial el aire. Entonces existen energías o sistemas alternativos para mejorar el consumo la eficiencia y los gases contaminantes uno de los cuales es el sistema GEET multi-fuels Processor que es marca registrada de Gloval Enviroment Energy Technology y que fue elaborado por Paul Pantone la investigación sobre este reformador de combustible fue iniciado por Jean Chambrin y otros alrededor del mundo.[Panacea-BOCAF On-line University].Este sistema se ha montado en generadores eléctricos de ciclo *OTTO* de 2 tiempos y en maquinaria agrícola.

1.2 Justificación

La elaboración de este trabajo de titulación parte del mejoramiento de las tecnologías para reducir las causas de contaminación del aire producida por los automóviles incorporando sistemas como EGR, EVAP, convertidores catalíticos tratando de mejorar los sistemas de alimentación desde el sistema a carburador, sistema monopunto mecánico, sistema de inyección mecánica hasta llegar

al sistema de inyección electrónica que en la actualidad la mayoría de vehículos posee aunque estos sistemas pueden ser costosos y complejos tanto en su estructura como en su funcionamiento. El sistema GEET de pantone ha sido probado con éxito en motores eléctricos de baja potencia con ciclo de funcionamiento *OTTO* de 2 tiempos cuyo objetivo de este trabajo de titulación es ajustar esta tecnología a motores de mayor potencia y de ciclo *OTTO* de 4 tiempos que aún no han sido probados y este es uno de los factores por los cuales el sistema aún no se encuentra en Ecuador, además este sistema podría mejorar el consumo de combustible y reducirlo lo cual podría no generar gases contaminantes generando de esta forma un impacto ambiental. El costo de fabricación de este sistema es barato en relación a los dispositivos encontrados en el país para reducir los gases contaminantes y sería asequible para todos los conductores, además esta tecnología puede servir como base para próximos estudios tales como la automatización o el mecanismo para abrir sus válvulas y la implementación en los motores de ciclo diésel.

Actualmente se valora el carburador junto con el motor de dos tiempos en vehículos y maquinaria ligeros. A pesar de ser el montaje menos eficiente es el más barato y el que obtiene más potencia por unidad de peso se usa en maquinaria agrícola ligera en motocicletas de baja cilindrada. En todos los casos la ventajas son similares bajo peso, bajo coste, fácil mantenimiento, buenas prestaciones fácil transporte.

Por este motivo se realizara el diseño y la implementación de un sistema de alimentación de combustible GEET en un motor de ciclo *OTTO* para reducir gases contaminantes y se analizara la potencia, el torque, el consumo de combustible y el porcentaje de gases contaminantes de tal manera que se pueda contribuir para próximos estudios.

1.3 Problema

Los automóviles de gasolina o ciclo *OTTO* son los principales medios de transporte existen diversos tipos de sistemas de alimentación como: carburador, inyección mecánica, monopunto y sistemas de inyección electrónica, estos tienen por finalidad lograr una mezcla estequiométrica óptima y así reducir los gases contaminantes producidos por el motor los cuales son tóxicos como el monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno los cuales crean repercusiones sobre la salud. En muchos países alrededor del mundo la contaminación es alta en Ecuador en la ciudad de Quito se ha realizado un estudio de contaminación el cual el 70% es aire contaminado por las emisiones de los vehículos de nuestra capital se dice que al año se consumen alrededor de 150 millones de galones de gasolina. Por esta razón se han traído a este mercado productos que reducen los gases contaminantes como catalizadores que son dispositivos fabricados con materiales preciosos como paladio, platino, oro etc. y que se pueden acoplar a cualquier vehículo

pero son costosos, las válvulas EGR(recirculación de gases de escape) que son dispositivos colocados en el sistema de escape con un intercooler que enfría cierta parte de los gases de escape y los vuelve a introducir en la cámara de combustión de este modo reduciendo los gases contaminantes y se los puede encontrar más en vehículos diésel disminuyendo en grandes cantidades los óxidos de nitrógeno generados por las altas temperaturas del cilindro. Pero el inconveniente de este sistema es que a revoluciones bajas es muy ruidoso y puede llegar a contaminar el ambiente ya que el motor tarda mucho más a llegar a la temperatura idónea y por ello aumenta el consumo en frío, además estos sistemas solo vienen incorporados en algunos vehículos lo que dificulta el montaje en otros tipos de vehículo aumentando el costo de los mismos, es por eso que en el mundo y en nuestro país existen deficiencias en los vehículos por la economía que representan estos dispositivos generando así un impacto ambiental a falta de dinero para obtener estos dispositivos.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivos General

Desarrollar un sistema de alimentación de combustible *GEET* para un motor ciclo *OTTO*, y realizar pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Conceptualizar aspectos teóricos-técnicos sobre el sistema de alimentación *GEET*.
- Diseñar y construir un sistema de alimentación *GEET* para un motor ciclo *OTTO* cuatro tiempos de 900cc.
- Implementar y realizar pruebas comparativas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes del sistema de alimentación de combustible *GEET* en el motor ciclo *OTTO*.
- Realizar el estudio técnico económico y de viabilidad del sistema.

CAPITULO II

2. EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

2.1 El MCI a nivel mundial

El motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía química almacenada en el combustible en energía mecánica, mediante un proceso térmico de funcionamiento.

Desde los primeros indicios de la aplicación de motores de combustión interna, a la época actual, el desarrollo se ha centrado en el perfeccionamiento de las factorías para producir más y mejores motores, de igual manera se ha desarrollado materiales, lubricantes, procesos de fabricación y modificaciones al funcionamiento de las diferentes partes que lo componen, si bien todo esto es un gran avance, hasta ahora nunca se ha tocado la forma inicial del ciclo de funcionamiento.

La historia de desarrollo del motor de combustión interna data desde el año 1859 y su invención se le atribuye El francés Joseph Etienne Lenoir (1822-1900) , quien construyo un motor de un solo pistón y un solo tiempo estos no tenían la fase de compresión, sino que funcionaban con una mezcla de aire y combustible aspirada o soplada dentro durante la primera parte del movimiento del sistema, por lo cual no era muy eficiente (5%), sin embargo se convirtió el predecesor a los múltiples motores que han sido construidos desde entonces, el tipo más utilizado y desarrollado es el tipo Alternativo.

Nikolaus *OTTO*, en 1876 con colaboración con Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach, perfeccionó y llevó a la práctica la construcción del motor de combustión interna de cuatro tiempos. De este modo creó una máquina motriz estática a partir de la cual desarrollaría el motor *OTTO*. Éste se hizo famoso en todo el mundo como máquina para el accionamiento de vehículos, trenes, barcos y aviones. Este motor sirvió de base para la invención del motor diésel. A partir de esta decisión la compresión en los motores se generalizó.

La distinción más significativa entre los motores de combustión interna modernos y los diseños antiguos es el uso de la compresión.

(Historia de los motores de combustion Interna, 2001) “Es interesante ver cómo en los motores de combustión interna, que llevan aproximadamente 125 años desde su invención, no se haya logrado grandes mejoras en su rendimiento (de 11% a máximo 30% para motores de encendido por chispa) a pesar de los avances y desarrollos tecnológicos que existen hoy día.”

Considerando la cantidad de aplicaciones que se verían beneficiadas por una mejora sustancial en este aspecto; sólo se puede pensar en que han existido factores que hacen que estos avances se den a un ritmo menor del esperado, entre otros:

- Las legislaciones referentes a los controles de emisiones, ya que éstas han hecho que se le dé más atención a la reducción de los niveles de emisión de contaminantes, lo que implica también que las investigaciones en el campo de las mejoras en el consumo de combustible del motor sean aún más difíciles de superar.
- La irreversibilidad del proceso, pues el nivel de degradación en el proceso de conversión de energía inherente a la combustión asalto, y sólo hace poco tiempo se ha logrado construir un puente entre la energía química contenida en el combustible y la energía mecánica, sin pasar por la combustión, esto promedio de las denominadas celdas de combustible, las cuales realizan dicha transformación energética directamente a energía mecánica a través de reacciones electroquímicas, y llevan a cero el factor de contaminación, debido a que no se quema combustible fósil.
- La búsqueda de un desarrollo sostenible, que ha centrado la mirada de la comunidad científica en el desarrollo de fuentes de energía alternativa más limpias que posean características de comportamiento simbiótico entre el ambiente, la naturaleza y el avance tecnológico del ser humano.

Sorprende el proceso de recurrencia que se da actualmente en el desarrollo de la historia de los motores de combustión interna, pues, debido a la situación ambiental que el hombre ha generado desde tiempo atrás, se ha visto en la necesidad de recurrir a la producción de energía por medio de métodos empleados anteriormente, pero utilizando en ellos los avances tecnológicos actuales, como es el caso de los generadores de viento; incluso se están implementando mejoras en el motor Stirling o de aire caliente, que antes había sido desplazado por el motor de combustión interna, todo con el fin de reducir el deterioro ambiental generado por los productos de la combustión.

En la actualidad los motores de combustión interna, a pesar de los problemas asociados (crisis energéticas, dependencia del petróleo, contaminación del aire, aumento de los niveles de CO₂,...) son todavía imprescindibles y se fabrican según diseños muy diferentes y una gama muy amplia de potencias que va desde pocos vatios hasta miles de kW.

Los constantes estudios y cambios que ha sufrido el MCI alternativo se debió principalmente a las potencialidades de uso que se le dio y a las grandes ventajas como:

- Alta posibilidad de utilizar diferentes tipos de combustible, en particular líquidos de alto poder calórico.
- Disponibilidad de una amplia gama de potencias que en la actualidad abarcan desde 0,1 HP hasta 43000 HP.
- Gran cantidad de disposiciones constructivas, que permiten adaptar los motores a los usos más diversos.

Respecto a la utilización de los MCI alternativos como planta Motriz, su extenso campo de aplicación se centra básicamente en dos áreas: 1) motores para automoción y 2) motores estacionarios.

1) Motores para Automoción:

- Transporte por carretera (automovilismo, camiones, motocicletas, etc.)
- Maquinarias de Obras Públicas (Palas Cargadoras, excavadoras, etc.)
- Maquinaria Agrícola (tractores, cosechadoras, etc.)
- Propulsión Ferroviaria
- Propulsión marina
- Propulsión Aérea (en la actualidad sólo en pequeños motores)

2) Motores Estacionarios.- su empleo Incluye:

- Generadores de Energía Eléctrica (centrales eléctricas y plantas de emergencia)
- Accionamiento Industrial (Bombas, compresores, etc.)
- Accionamiento Agrícola (motobombas, cortadoras agrícolas, sierras mecánicas, etc.)

Sin duda las prestaciones y beneficios que ha brindado la invención del motor de combustión interna alternativo han sido un pilar fundamental para el desarrollo y bienestar del ser Humano (Peralta, 2013).

2.2 El MCI en Ecuador

Como en el resto del mundo los motores de combustión interna han sido la fuerza para el desarrollo económico, la utilización del motor de combustión interna en el Ecuador va a la par

con el contexto mundial, es muy importante y fundamental para solventar muchas de las necesidades que requiere la sociedad.

Ejemplo de esto se puede mencionar la construcción de carreteras, vías de acceso a comunidades.

Vale destacar también el gran uso que se le da en la generación eléctrica del Ecuador, según el Ministerio coordinador de sectores estratégicos el 26 % de energía del país es producida por motores de combustión interna. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014)

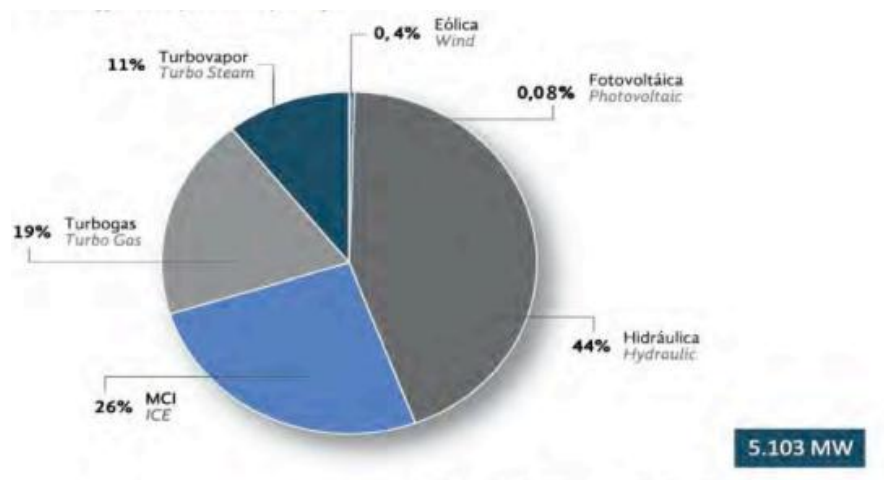


Figura 1-2. Potencia efectiva en el Ecuador

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014)

Así mismo la utilización de la energía, según él (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014) está destinada principalmente al transporte. (49%) recalcando que básicamente éste medio se sustenta en el uso de motores de combustión interna. (Figura 2-2).

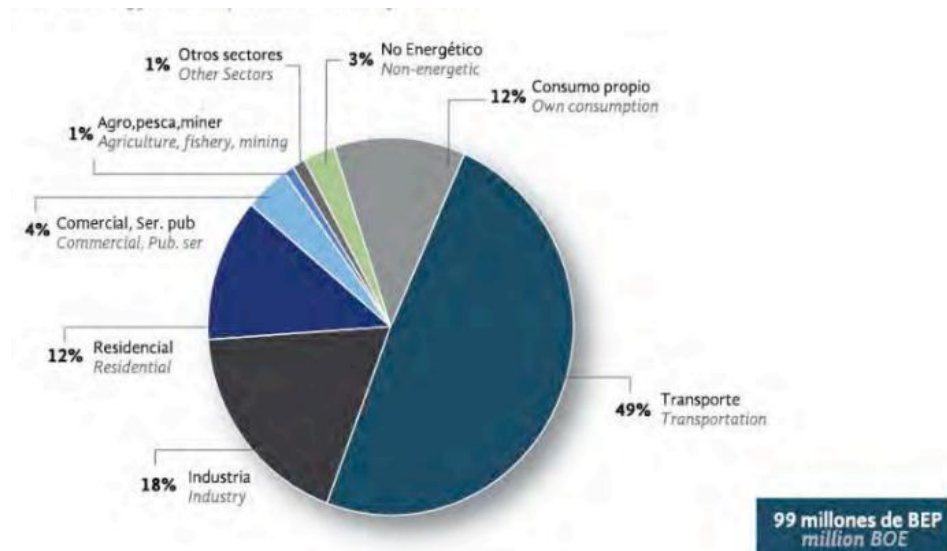


Figura 2-2. Demanda de energía en el Ecuador por sectores

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014)

Por otro lado la figura 2 también podemos ver que el MCI está presente en los sectores industriales y residenciales (aunque en menor medida),esto deduciendo que algunos de los procesos realizados en la industria se basan en mecanismos de MCI mientras que en el sector residencial son utilizados en cortadoras de césped, pequeños generadores de electricidad, bombas hidráulicas etc.

2.3 Motor de combustión interna de media potencia

Como podemos ver la importancia del uso del *MCI en El Ecuador y el resto del mundo es predominante, ya como generador de energía o como medio de transporte el MCI tiene un importante papel en el desarrollo del hombre*. Sin embargo en el presente proyecto investigativo está dirigido a los Motores de combustión Interna de media potencia (40 cv o 30kw hasta 200 cv o 147 kw) que en la mayoría son empleados en el transporte liviano , por lo que para referenciar a este rango de potencias, se ha concebido sintetizar su nombre en Motores de Combustión Interna de media potencia. El uso principal de los motores de media potencia, está destinado principalmente para el transporte privado de personas (automóviles) como:

- Automóvil de turismo (hatchback, liftback, sedán y familia)
- Monovolumen (Minivan)
- Todoterreno (4x4)
- Vehículo deportivo utilitario (SUV)
- Furgoneta (busetas)
- Camioneta (*pickup*)
- Automóvil deportivo (cupé, descapotable, roadster, Muscle Car, gran turismo y súper deportivo).

Todos estos con capacidad para transportar unas cuatro o cinco personas y equipaje. Salvo furgonetas y camionetas que tiene un gran volumen de carga en relación a su grupo de clasificación, como se puede evidenciar existe una amplia gama de vehículos que se componen de un motor de media potencia constituyéndose como herramienta primordial de locomoción (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000).

2.4 Motores de combustión interna

2.4.1 Generalidades

El motor de combustión interna es una maquina la cual está compuesta por varios mecanismos, elementos fijos y móviles cuyo funcionamiento es el encargado de aprovechar, dirigir, regular transformar un tipo de energía o en un trabajo, en este caso podemos ver que transforma la energía química de la gasolina en energía mecánica- lineal, para luego transformarla por medio de mecanismo biela manivela en energía mecánica rotacional. Todo este proceso se realiza cuando el combustible es comprimido en un cilindro mediante un pistón o émbolo y se hace inflamar la mezcla por medio de una chispa proporcionada por un sistema de encendido. La enorme fuerza explosiva es recibida por el pistón se convierte en energía mecánica de movimiento (figura 3-2).

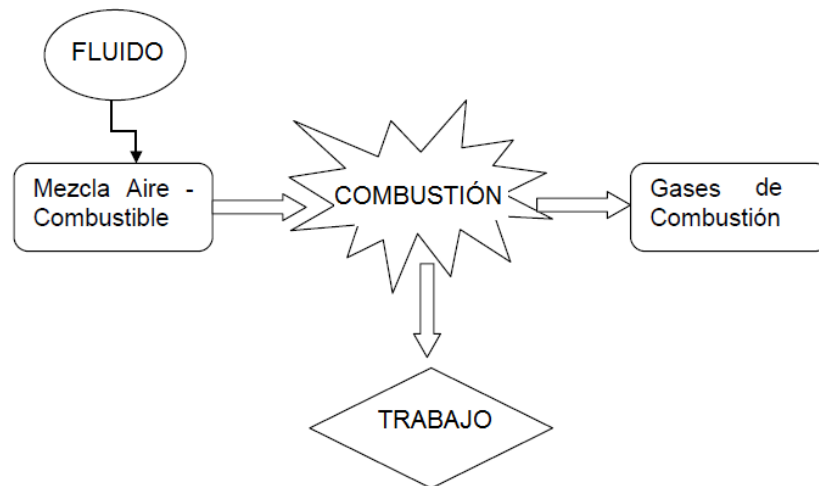


Figura 3-2. Funcionamiento del motor de combustión interna

Fuente: (Propia, 2015)

2.4.2 Clasificación de los motores de combustión interna según el tipo de encendido

- El motor de explosión ciclo *OTTO*, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August *OTTO*, es el motor convencional de gasolina encendido por chispa (Figura 4-2).
- El motor diésel, llamado así en honor del ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasóleo. encendido por compresión (Figura 4-2).

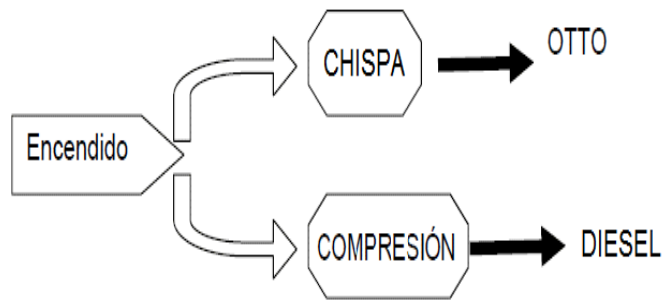


Figura 4-2. Tipos de encendido del MCI

Fuente: (Propia, 2015)

2.4.3 Clasificación de los motores de combustión interna, según el ciclo de trabajo

- De dos tiempos (2T): efectúan una carrera útil de trabajo en cada giro
- De cuatro tiempos (4T) efectúan una carrera útil de trabajo cada dos giros.

2.4.4 Estructura y Funcionamiento

Los motores *OTTO* y los diésel tienen los mismos elementos principales, (bloque, cigüeñal, biela, pistón, culata, válvulas) y otros específicos de cada uno, como la bomba inyectora de alta presión en los diésel, o sistema de encendido por bujías resistivas en los *OTTO*.

En los motores de 4 tiempos es muy frecuente designarlos mediante su tipo de distribución: SV, OHV, SOHC, DOHC. Es una referencia a la disposición del (o los) árbol de levas. (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

2.5 Motor de combustión interna ciclo OTTO

Como ya se ha mencionado el motor de combustión interna es una máquina térmica cuyo propósito es transformar la energía química en mecánica producida por la reacción del combustible en el interior de la cámara de combustión del motor, su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma. (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

El diseño propuesto hace más de 140 años por el señor Federico Augusto *OTTO* se ha depurado hasta la época actual llegando al límite de los rendimientos mecánico y cualitativamente el desarrollo se ha centrado en el perfeccionamiento de las fabricas para producir motores con altos estándares de calidad,, todo esto con la finalidad de mejorar el rendimiento del motor y evitar pérdidas de energía de igual manera cada vez los ingenieros van desarrollando mejores sistemas

, que si bien se ha logrado alcanzar un rendimiento del 40% (frente a un limitado 15 % en el principio,) hasta ahora nunca se ha podido tocar el principio termodinámico del motor. (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000) (Figura 5-2).

2.5.1 Termodinámica del motor OTTO

La termodinámica dice que el rendimiento de un motor alternativo depende en primera instancia del grado de compresión.

Esta relación suele ser de 1 a 10 en la mayoría de los motores OTTO modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano para evitar contra explosiones o que el combustible se inflame antes de tiempo, lo cual producir graves daños en el motor.

La eficiencia o rendimiento medio de un buen motor OTTO es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica. (Figura 6-2). (Termodinámica Automotriz, Rodrigo Díaz Bonifáz, 2008)

Ciclo teórico de OTTO.- Es el ciclo mediante el cual funcionan los motores a gasolina.

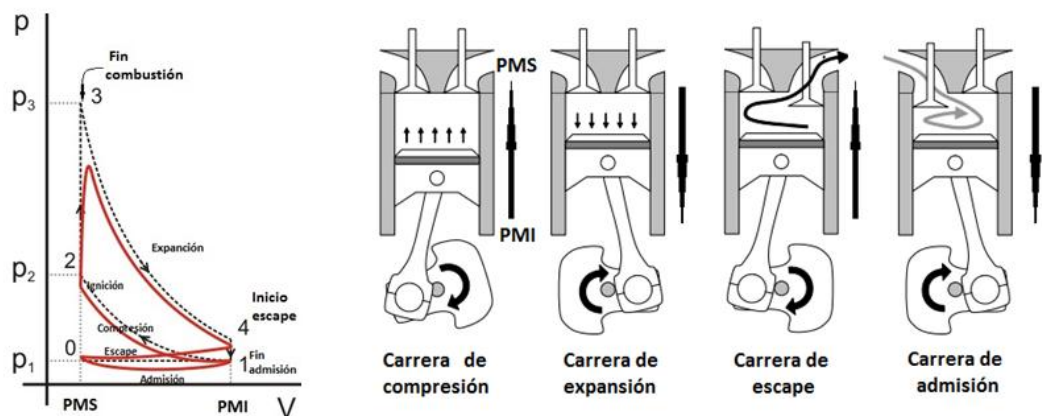


Figura 5-2. Motor de 4 tiempos encendido por chispa

Fuente: (Termodinámica Automotriz, Rodrigo Díaz Bonifáz, 2008)

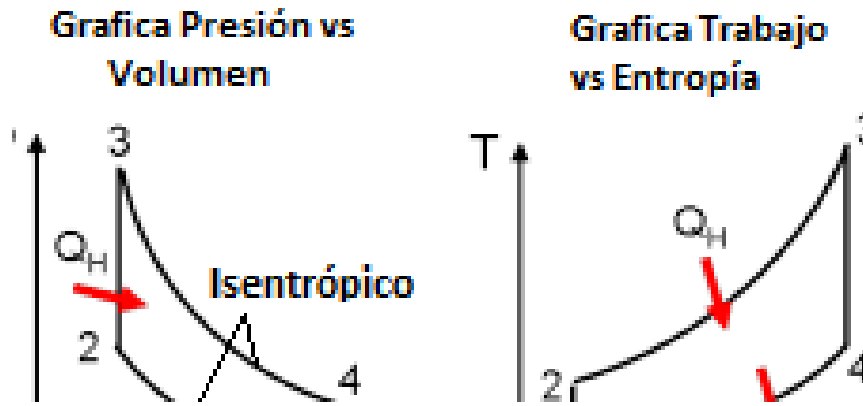


Figura 6-2. Ciclo OTTO

Fuente: (Termodinámica Automotriz, Rodrigo Díaz Bonifáz, 2008)

2.5.1.1 Analisis termodinamico del ciclo OTTO

1-2 Proceso adiabático isotrópico de compresión ($s=\text{cte}$).

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

$$P_1 \cdot V_1 = RT_1 \quad (3)$$

Donde:

T1-2= Temperatura 1-2

K= Relación de calores específicos.

P1-2 = Presión 1-2

R= Constante de los gases.

V1-2= Volumen 1-2

φ = Relación de compresión

La relación de compresión normalmente se encuentra en el siguiente rango para los motores ciclo OTTO

$$\varphi = 6 \text{ a } 10$$

2-3 Proceso de suministro de calor Volumen cte.

Ignición

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{P_3}{P_2} \quad (5)$$

La relación de combustión a $v=cte$ (grado de elevación de la presión) se encuentra en el siguiente rango:

$$\tau = 3.8 \text{ a } 4.2$$

Dónde:

τ = Relación de combustión

3-4 Proceso adiabático isentrópico de expansión expansión

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{K-1} \quad (6)$$

$$P_3.V_3^K = P_4.V_4^K \quad (7)$$

4-1 Proceso de rechazo de calor a volumen cte. Escape

$$Q_r = m.C_v (T_4 - T_1) \quad (8)$$

Dónde:

Q_r = Calor rechazado.

m = flujo de masa.

C_v = Calor específico a volumen constante.

La potencia efectiva esta expresada como:

$$N_e = \frac{\aleph}{30Z} n_m n_i n_t n_v PV \quad (9)$$

Dónde:

Z = Numero de tiempos operativos del motor

$n_{m,i,t,v}$ = Rendimiento mecánico, indicado, térmico y volumétrico, respectivamente.

P = Potencial térmico.

V = Cilindrada.

\aleph = Numero de revoluciones.

2.5.2 *Sistemas de los motores ciclo OTTO.*

2.5.2.1 *Cámara de combustión*

La cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al cilindro. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por una biela al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón. (Figura 7-2).

En los motores de varios cilindros, el cigüeñal tiene una posición de partida, llamada espiga de cigüeñal y conectada a cada eje, con lo que la energía producida por cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación. Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje. Un motor alternativo puede tener de 1 a 28 cilindros. (Motores Endotérmicos, Giacosa Dante, 1988)



Figura 7-2. Cámara de combustión

Fuente: (Motores Endotérmicos, Giacosa Dante, 1988)

2.5.2.2 *Sistema de alimentación*

El sistema de alimentación de combustible de un motor *OTTO* consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo dosificador de combustible que vaporiza o atomiza el combustible desde el estado líquido, en las proporciones correctas para poder ser quemado. Se llama carburador al dispositivo que hasta ahora venía siendo utilizado con este fin en los motores *OTTO*.

Ahora los sistemas de inyección de combustible lo han sustituido por completo por motivos medioambientales. Su mayor precisión en el dosaje de combustible inyectado reduce las emisiones de CO₂, y aseguran una mezcla más estable.

En los motores de varios cilindros el combustible vaporizado se lleva los cilindros a través de un tubo ramificado llamado colector de admisión. (Figura 8-2).

La mayor parte de los motores cuentan con un colector de escape o de expulsión, que transporta fuera del vehículo y amortigua el ruido de los gases producidos en la combustión. (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

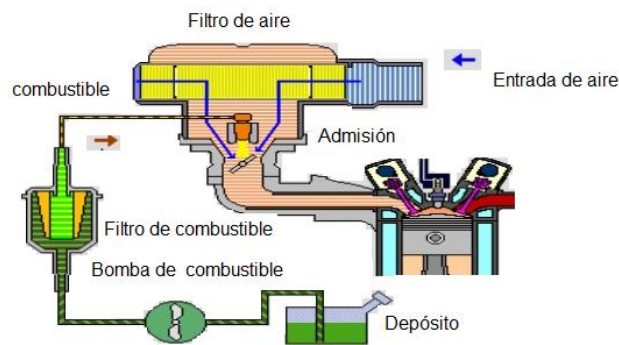


Figura 8-2. Sistema de alimentación

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional, 2014)

2.5.2.3 Sistema de encendido

Los motores necesitan una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro. En los motores *OTTO*, el sistema de ignición consiste en un componente llamado bobina de encendido, que es un auto-transformador de alto voltaje al que está conectado un conmutador que interrumpe la corriente del primario para que se induzca un impulso eléctrico de alto voltaje en el secundario.

Dicho impulso está sincronizado con la etapa de compresión de cada uno de los cilindros; el impulso se lleva al cilindro correspondiente utilizando un distribuidor rotativo y unos cables de grafito que dirigen la descarga de alto voltaje a la bujía.

El dispositivo que produce la ignición es la bujía que, fijado en cada cilindro, dispone de dos electrodos separados unos milímetros, entre los cuales el impulso eléctrico produce una chispa, que inflama el combustible. Si la bobina está en mal estado se sobrecalienta; esto produce pérdida de energía, aminora la chispa de las bujías y causa fallos en el sistema de encendido del automóvil. (Figura 9-2).

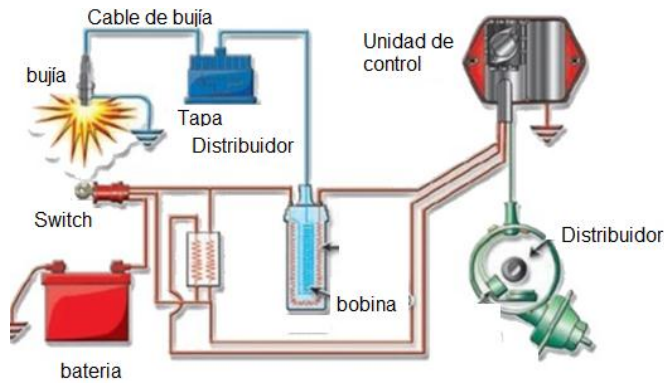


Figura 9-2. Sistema de encendido

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional, 2014)

2.5.2.4 Sistema de arranque

Al contrario que los motores y las turbinas de vapor, los motores de combustión interna no producen un par de fuerzas cuando arrancan (véase Momento de fuerza), lo que implica que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo. Los motores de automoción utilizan un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Por otro lado, algunos motores pequeños se arrancan a mano girando el cigüeñal con una cadena o tirando de una cuerda que se enrolla alrededor del volante del cigüeñal.

Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia, que aceleran el volante manualmente o con un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente como para mover el cigüeñal. Ciertos motores grandes utilizan iniciadores explosivos que, mediante la explosión de un cartucho mueven una turbina acoplada al motor y proporcionan el oxígeno necesario para alimentar las cámaras de combustión en los primeros movimientos. Los iniciadores de inercia y los explosivos se utilizan sobre todo para arrancar motores de aviones. (Figura 10-2). (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional, 2014)

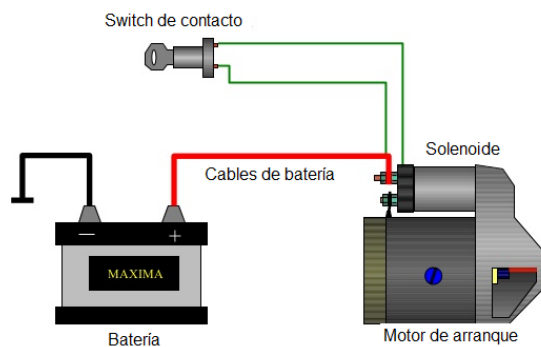


Figura 10-2. Sistema de encendido

Fuente: (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional, 2014)

2.5.2.5 Sistema de distribución

Cada cilindro toma el combustible y expulsa los gases a través de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes. Un muelle mantiene cerradas las válvulas hasta que se abren en el momento adecuado, al actuar las levas de un árbol de levas rotatorio movido por el cigüeñal, estando el conjunto coordinado mediante la cadena o la correa de distribución. Ha habido otros diversos sistemas de distribución (Figura 11-2). (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

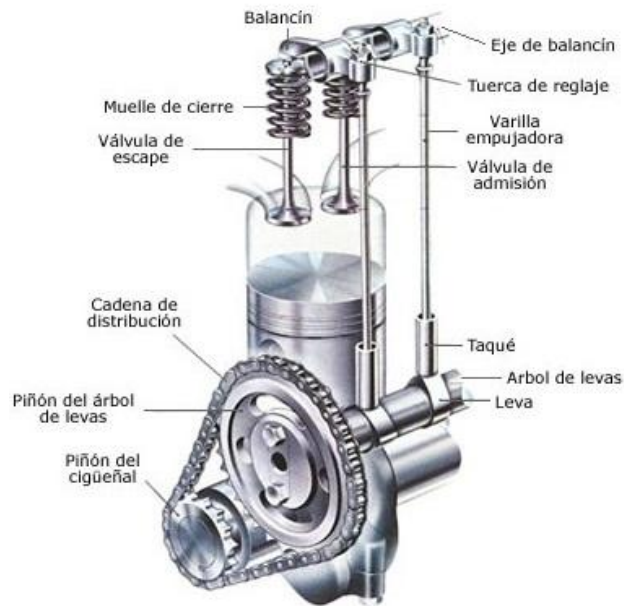


Figura 11-2. Sistema de distribución

Fuente: (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

2.5.2.6 Sistema de refrigeración

Dado que la combustión produce calor, todos los motores deben disponer de algún tipo de sistema de refrigeración. Algunos motores estacionarios de automóviles y de aviones y los motores fueraborda se refrigeran con aire. Los cilindros de los motores que utilizan este sistema cuentan en el exterior con un conjunto de láminas de metal que emiten el calor producido dentro del cilindro. En otros motores se utiliza refrigeración por agua, lo que implica que los cilindros se encuentran dentro de una carcasa llena de agua que en los automóviles se hace circular mediante una bomba. El agua se refrigera al pasar por las láminas de un radiador. Es importante que el líquido que se usa para enfriar el motor no sea agua común y corriente porque los motores de combustión trabajan regularmente a temperaturas más altas que la temperatura de ebullición del agua. Esto provoca una alta presión en el sistema de enfriamiento dando lugar a fallas en los empaques y sellos de agua así como en el radiador; se usa un refrigerante, pues no hierve a la

misma temperatura que el agua, sino a más alta temperatura, y que tampoco se congela a temperaturas muy bajas (Figura 12-2).

Otra razón por la cual se debe usar un refrigerante es que éste no produce sarro ni sedimentos que se adhieran a las paredes del motor y del radiador formando una capa aislante que disminuirá la capacidad de enfriamiento del sistema. En los motores navales se utiliza agua del mar para la refrigeración. (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

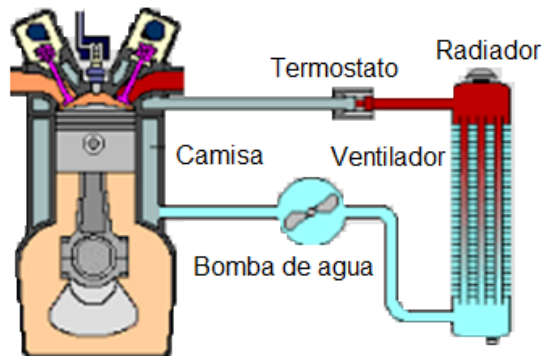


Figura 12-2. Sistema de refrigeración

Fuente: (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

2.5.3 Magnitudes principales de los motores de combustión interna

Las principales magnitudes que se generan en un motor son la potencia, par motor y el consumo específico de combustible. Estos parámetros identifican el tipo de motor proporcionando una referencia en cuanto a sus prestaciones de funcionamiento. El fabricante suministra estos datos obtenidos mediante ensayos en bancos de potencia. Como el dinamómetro en el caso del torque.

2.5.3.1 Par motor

La combustión de la mezcla aire-combustible genera presión y temperatura en el interior de los cilindros. Si se multiplica esta presión por el área del pistón produce una fuerza la cual va decreciendo a medida que el pistón desciende en su carrera de trabajo. Esta fuerza se mide en Newtons (N).

Al transformarse el movimiento de traslación del pistón en movimiento circular de giro (biela-manivela) por medio del cigüeñal se genera el par motor o "torque" (T) es el producto de la fuerza aplicada (F) de empuje por la distancia (d) del eje geométrico de giro del árbol del cigüeñal (Figura 13-2).

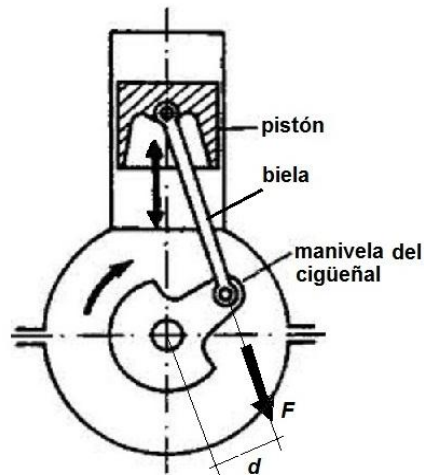


Figura 13-2. Mecanismo Biela-manivela

Fuente: (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

La fórmula del par motor o Torque es una fuerza en función de una distancia.

$$\tau = F \times d \text{ [Nm]} \quad (11)$$

El torque o par motor se mide, según el Sistema Internacional de Unidades, en Newton por metro (N·m).

2.5.3.2 La Potencia

La potencia es el trabajo efectuado en un cierto tiempo. Por este motivo, ésta depende del torque y de la velocidad de rotación del motor. Cuanto más rápido gire el motor, más aumentará la potencia. La potencia del motor influye en la velocidad del vehículo. (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

La fórmula de la Potencia es el Torque por la velocidad angular:

$$Na = \tau \times \omega \quad (12)$$

Según el S.I la potencia se expresa en Watios (W) o Horse Power (HP) o en caballos según DIN (CV). El par motor se encuentra en metros por Newton y la velocidad angular en RPM o en radianes por segundo.

2.5.3.3 Consumo específico de combustible

Es la cantidad de combustible que necesita un motor para suministrar una determinada unidad de potencia por unidad de tiempo. El consumo específico es una forma de expresar el rendimiento del motor, en el sentido que relaciona consumo con prestaciones. Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su rendimiento. (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

2.5.4 Sistema de alimentación de los motores ciclo OTTO

El sistema de alimentación es el encargado de aportar una mezcla aire combustible adecuada al motor, para una combustión lo más perfecta posible.

Para entender concretamente será necesario Saber:

- **Dosificación**

Es la relación que existe entre la cantidad de aire y la correspondiente cantidad de gasolina.

- **Vaporización**

Para inflamar la mezcla aire-combustible es necesario que los dos componentes estén en estado gaseoso, para realizar la evaporización de un líquido podemos actuar sobre la temperatura, la presión y la superficie de evaporación.

- **Homogenización**

La mezcla optima contenida en los cilindros debe ser en todos los puntos 1 gr. de gasolina por 14,7 gr de aire de lo contrario la mezcla será pobre o rica esto quiere decir que obtendremos una combustión incompleta.

- **Carburación**

La reunión de los distintos principios enunciados anteriormente permite la creación del carburador elemental. (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

2.5.4.1 Sistema de inyección mecánica a carburador

Para que un motor de gasolina opere correctamente, es necesario que haya suficiente presión de compresión, que la distribución del encendido sea correcta que haya una chispa caliente y que la mezcla de aire y combustible sea la óptima.

El carburador es el mecanismo que mezcla el aire y el combustible en las proporciones adecuadas para que el motor produzca la mayor cantidad de fuerza de la manera más económica, es importante que la gasolina sea convertida en una sustancia de fácil combustión antes de ser enviada a los cilindros. La cantidad de esta sustancia ejerce una gran influencia sobre el desempeño del motor y el consumo del combustible. (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

2.5.4.2 Principio del carburador

El carburador opera en base al mismo principio de una pistola de pintura (Figura 7-2), cuando se sopla aire por el borde del tubo de roció, baja la presión ambiental del tubo. El líquido que hay en el rociador sube entonces por el tubo y es atomizado por el aire. Entre más rápido sople el aire por la parte superior del tubo, más bajará la presión en el tubo, y más líquido saldrá por el tubo (Figura 14-2). (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

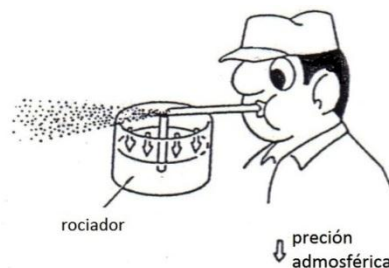


Figura 14-2. Principio del carburador

Fuente: (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

2.5.4.3 Configuración básica del carburador

Mientras el pistón está bajando dentro del cilindro durante la carrera de admisión del motor, se crea un vacío, que succiona el aire a través del carburador y lo hace entrar a la cámara de combustión. El abrir y cerrar de la válvula de obturación controla el flujo de aire, y el pedal del acelerador, a su vez, controla la válvula de obturación.

Cuando el flujo de aire pasa por el venturi, la velocidad aumenta y la presión del aire del venturi disminuye. Esto hace que la gasolina de la cámara de flotación salga por la tobera principal. (Figura 15-2). (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

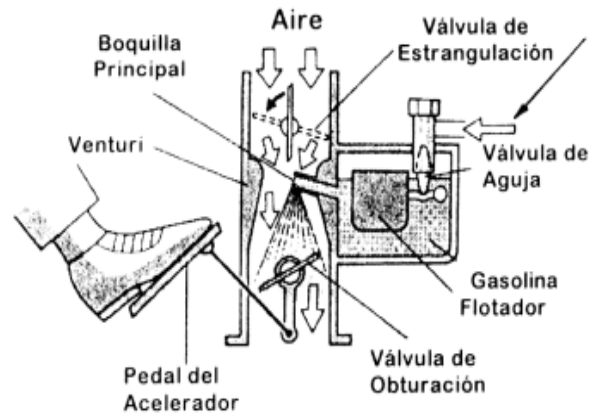


Figura 15-2. Construcción básica de un carburador

Fuente: (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

CAPÍTULO III

3. SISTEMA *GEET*

3.1 Introducción

El sistema *GEET* aparece como una necesidad para mejorar la eficiencia del motor de combustión interna, una tecnología que aún se encuentra en etapa de publicación. En varias partes del mundo se han imitado experimentos de forma empírica del diseño propuesto por su creador Paul Pantone, en los cuales se ha evidenciado una mejora en la combustión de los gases, en el motor de combustión interna y por lo tanto se ha conseguido efectivizar el rendimiento general del mismo.

3.2 Cronología del sistema *GEET*

Según (Van Jaag, 2009) en su libro “El Motor de Agua” realiza una descripción del desarrollo del agua como combustible para los motores de combustión interna y también hace referencia a la historia del mismo entre ellos se encuentra el sistema *GEET* de Pantone.

El motor de agua es una creación que a lo largo del tiempo se ha ido modificando para lograr un fin común que es la reducción de la contaminación producida por el motor de combustión interna, para utilizar el agua como combustible, es necesario separar el hidrogeno por medio de un aporte externo de energía, en si todas las invenciones de este invento han sido llamadas el motor de agua mas no se ha indicado que es necesario separar el hidrogeno del agua mediante energía proporcionada al sistema, según (Jaag) “ Se afirma por ejemplo que el inventor español Estévez Varela construyo el primer motor de agua que hizo demostraciones públicas” aquel funcionaba con un producto secreto y nunca lo revelo y es por eso que su invento no logro alcanzar el mercado mundial, a continuación tenemos una lista de inventores relacionados con el motor de agua y cuáles fueron sus hallazgos en este campo.

- 1914.- Leonard Atwood
Invento un medio para mejorar la combustión mesclando diferentes combustibles.
- 1918.- Charles H.Frazer
Crea un electrolizador de oxigeno e hidrogeno para el uso en Motores de combustión Interna.
- 1924.- William Howard

Mejora los motores mediante la introducción de hidrogeno aumentando la velocidad de explosión traducido en mayor potencia.

- 1932.- Walter Drabold
Mejora los MCI variando la proporción de los gases para complementar los sistemas de carburación atmosféricos.
- 1950.- George Hey
Adiciona al MCI un gas oxhídrico producido por electrolisis.
- 1967.- Georg Mittelstaedt
Patenta un sistema de introducción de hidrogeno y oxigeno producido por electrolisis.
- 1970.- Arturo Rufino Estévez Varela
Realizo el primer motor que funcionaba con agua , el invento se demostró a centenares de personas los cuales creían que era viable, de su ciudad natal en el valle de Serena se traslada a Madrid Sevilla con su esposa y 5 hijos su pasión era la invención es por eso que en 1931 comenzó con una gran lista de patentes que se alargarían casi al centenar en el trascurso de los años, se le confirió dos medallas de plata una por un purificador de gases contaminantes y otra por su sistema de recuperación de helicópteros en casos de avería ,consiguiendo la fama al inventar el motor de agua.

“Se afirmaba, con dos litros y medio de agua y un kilo de su producto secreto se conseguían tres metros cúbicos de gas, con tantas calorías como las que producen nueve litro de gasolinas de 96 octanos” (Jaag, 2013).

Hay quien piensa que Estevez Varela conseguía generar energía mediante la adición de boro al agua que producía una reacción muy exotérmica el problema dice según (Jaag, 2013) que se necesitan 45 litros de agua y 19 kg de boro para producir 5kg de hidrogeno que proporcionarían una autonomía semejante a la de un tanque de 40 litros de gasolina o gasóleo.

La idea principal fue construir un motor nuevo, pero se dio cuenta de la economía de las personas y la existencia de los vehículos de la época que decidió inventar un combustible derivado de materiales de fácil acceso como el agua que se le añadía un aditivo que actuaba como catalizador.



Figura 1-3. Estévez Varela y su sistema acoplado a una motocicleta

Fuente: (Jaag, 2013)

- 1975.- Jean Chambrin

Patento un motor muy singular, no triunfo en la industria del automóvil simplemente desapareció de la vida pública, la empresa HYPNOW comercializa su invento bajo la denominación de RETROKIT instalado en maquinarias fluvial, agrícola, industrial y marítima. “Los agricultores franceses que lo instalan en sus tractores aseguran obtener hasta un 40% de ahorro en consumo de gasóleo” (Jaag, 2013).

- 1978.- Archie Blue

Invento un dispositivo que se acoplaba en el compartimiento del motor de un automóvil para hacerlo funcionar exclusivamente con el hidrogeno extraído del agua.

Archie observo que cualquier motor funcionaba mejor cuando llueve así que pensó en un tipo de humectador muy simple que une dos conceptos: la humectación de Jean Chambrin y la electrolisis, su invención consistía en tres frascos con placas intercaladas para generar electrolisis y mediante un vacío podía sacar todo el hidrogeno hacia la admisión se ignoraba algún tipo de aditivo que podía producir esta reacción consiguió recorrer 40 kilómetros por cada litro de agua.

- 1982.- Daniel Dingel

En los años 80 construyo un motor que se alimentaba con agua como prueba de este invento hacia las personas, viaje de Detroit a Florida con 60 litros de agua y 2 de gasolina. El motor de Daniel necesitaba gasolina solo para encenderse posteriormente el trabajo lo realizaban dos reactores con ayuda de bacterias y electricidad separaban el hidrogeno y oxígeno.

- 1990.- Stanley Meyer

Asegura haber creado un mecanismo en el interior de un MCI que producía hidrogeno y oxígeno. Su funcionamiento lo realizaba por medio de un tren de pulsos a baja intensidad

observo que la electrolisis se mantenía después de cerrar el circuito y en vez de ocupar corriente directa utilizo este tren de pulsos que le ayudaba a generar más gas.

Según (Jaag, 2013) “Meyer también afirmo que había añadido inyectores para pulverizar una fina niebla de agua en el interior de los cilindros aunque a ciencia cierta no se sabe si añadía algún aditivo soluble al agua para favorecer la combustión”, el gas de Brown(oxhídrico) de las celdas de resonancia después de dividir el agua y oxigeno se mesclaban con la fina niebla y se quemaba en el interior del motor dando como resultado vapor de agua en expansión para producir energía neta.

Meyer consiguió que su invento que funcionara en un buggy el cual era movido por agua y por un pequeño aporte de electricidad utilizando electrolisis, nació en Ohio y en 1998 fue encontrado muerto en un estacionamiento de su ciudad natal.

- 1998.- Paul Pantone

(Jaag, 2013) “En 1998, Paul Pantone, un ingeniero norteamericano de 48 años, patentaba un extraño artilugio bajo el nombre de procesador mult carburantes GEET (Global Enviromental Energy Tecnology).Se trataba de un motor que supuestamente mejoraba la eficiencia de combustible y reducía la emisión de gases contaminantes en un 90%.

Según la descripción de Pantone, su invento lograba transformar la perdida de calor en energía mecánica mediante un proceso simple, lo que permitía incluso la utilización de agua como combustible adicional”.

Pantone se vio obligado a difundir su invento por internet pues no tenía apoyo económico para la producción del mismo, entonces por la red se pueden encontrar testimonios que aseguran la validez del sistema aunque no existe ningún estudio científico que avale la teoría de Pantone.

(Jaag, 2013) “Sus detractores afirman que consume menos a costa de restar potencia en el motor sería igual de eficiente, por ejemplo, acelerar suavemente o no forzar el motor en reposo”.

(Jaag, 2013) Cita el caso de BMW que “investiga un modelo hibrido basado en el mismo principio, que ahorraría hasta el 80% de combustible”. Pero no se puede sacar a la venta por la patente de Paul Pantone.

En el 2002 fue hallado culpable de delito de fraude según (Jaag, 2013) “La empresa Better World Technologies, especializada en venta de soluciones energéticas Paul Pantone, tras declararse culpable de varios de los cargos que se le imputaban, ingreso en prisión en 2005”.

3.3 Mecánica y fundamentos del sistema *GEET*

De la bibliografía recopilada, esencialmente se puede simplificar al sistema *GEET* como se muestra en el esquema de la figura 2-3.

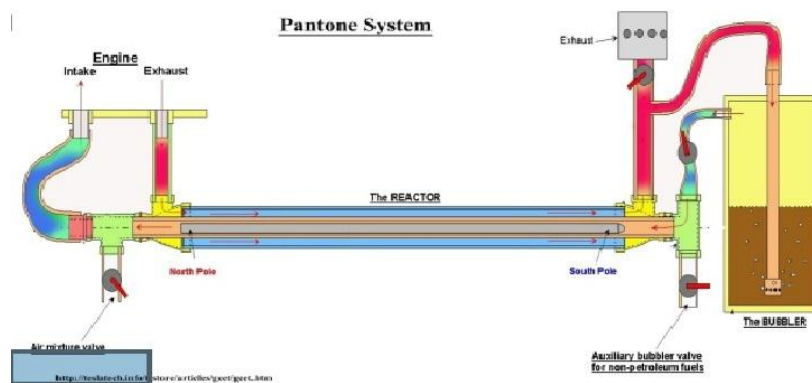


Figura 2-3. Esquema básico del sistema *GEET*

Fuente: (Pantone, 2015)

El sistema *GEET* se compone de un burbujeador, el cual almacena 2 líquidos que son agua y combustible (gasolina) y un reactor que es un intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos.

El funcionamiento consiste en la utilización los gases de escape del motor, que pasaran por el tubo exterior y se dirigirán al burbujeador, mientras que por el tubo interior en flujo a contra corriente pasara la nueva mezcla hacia la cámara de combustión siempre y cuando el sistema funcione luego de que el motor haya alcanzado la temperatura de trabajo que es aproximadamente 80 °C.

La finalidad del burbujeador es almacenar los líquidos adecuadamente y transformarlos de un estado líquido a un gaseoso por medio de la energía proveniente de los gases de escape. El nuevo combustible pasa por el reactor que está provisto de diferentes válvulas una de estas controla la entrada de aire o vacío que se produce por la aspiración del motor en admisión dejando entrar la nueva mezcla a la cámara de combustión consiguiendo el respectivo funcionamiento del motor. (BOCAF, 2010)

(Hidrogenes, 2012) Explica una secuencia grafica rápida del sistema en el orden numérico que se muestra en la siguiente figura 3-2.

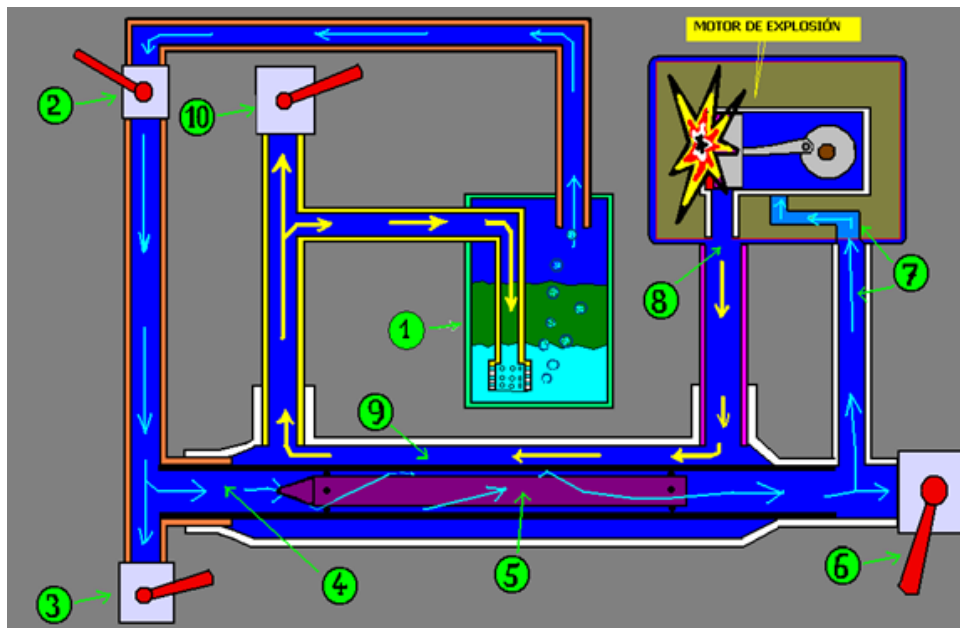


Figura 3-3. Diagrama de funcionamiento del sistema GEET

Fuente: (Hidrogenes, 2012)

1. “En el depósito n° 1 conteniendo agua y gasolina se produce una turbulencia por los efectos de los gases calientes que llegan hasta allí producto de una explosión. De esta operación se produce la gasificación del combustible (agua-gasolina).
2. Esta llave gradúa la cantidad de paso del combustible.
3. Esta llave libera la sobrepresión que se genera el burbujeador
4. La combinación aire-combustible, entra en un tubo 5.
5. Este tubo tiene en su interior una barra suspendida en el centro por separadores, y esta barra maciza es de menor diámetro que el tubo 6.
6. Una llave gradúa la mayor o menor cantidad de entrada de combustible evaporado previamente en el *GEET*, antes de entrar en la admisión del motor, para ser combustionado.
7. La mezcla de aire + combustible entra en la admisión del motor y se produce la expansión.
8. Los gases producto de la expansión son expulsados.
9. Los gases producto de la expansión entran dentro del *GEET*, y evaporan el combustible, esta adecuación o activación del combustible se efectúa en el tránsito del interior del tubo marcado con línea negra, que a su vez aloja la barra maciza. El *GEET* calienta por tanto el tubo negro y lo que circula es su interior que son: el combustible y la barra maciza.
10. La mayor o menor cantidad de gases de la expansión del motor que quedan atrás de la turbulencia dispuesta para depósito, salen al exterior por esta llave, siendo así esta llave propiamente, el escape, no del motor, sino del sistema *GEET*.” (Hidrogenes, 2012)

El sistema GEET trabaja bajo el principio que las masas de aire frío y caliente se mueven en direcciones opuestas mediante un vacío. Una masa producida por la evaporación de los gases y otra masa que son los gases de escape, la varilla dentro del procesador actúa como tierra, las masas que se encuentran en forma de cizalladura producen fricción entre ellas generando cargas eléctricas que forman plasma. (BOCAF, 2010)

Uno de los numerosos métodos para transformar el combustible líquido en vapor es el burbujeador, los gases de escape entran al burbujeador por medio de un tubo agujereado por el cual burbujea la mezcla, creando vapores que son arrastrados por el vacío generado en el motor, solo los vapores son atraídos a la cámara de combustión.

El corazón del procesador *GEET* se encuentra en la cámara de reacción es la parte más importante del sistema irónicamente es la parte más fácil de construir muchas veces si el sistema no funciona adecuadamente no es culpa del reactor pueden ser las mezclas inadecuadas de los líquidos, pérdidas de vacío, etc. (BOCAF, 2010)

3.4 Elementos del sistema *GEET*

El sistema *GEET* está formado por un procesador de combustible llamado reactor (1) y un burbujeador (2), el reactor a la vez lo conforman dos tubos de cobre, acero o cualquier aleación de los mismos (3) y una varilla maciza con una punta mecanizada en un extremo para generar turbulencia dentro del reactor (4), además se tiene elementos de acople del reactor hacia el burbujeador (5) y del reactor a la admisión del motor (5), como mangueras metálicas, racores y válvulas manuales, el burbujeador (2) está provisto de un tanque sellado herméticamente para evitar la salida de los gases de escape por el mismo consta también de un tubo agujereado (6) que se encuentra dentro del burbujeador, por el cual entrara los gases de escape calientes para realizar la emulsión de los líquidos Agua (7) y gasolina (8). La válvula (5c) permite el paso de gases de escape en mayor o menor cantidad hacia el burbujeador es de tipo esfera y de hierro galvanizado al igual que las otras 3 válvulas, la válvula (5v) permite el paso de la nueva mezcla al motor, la válvula (10) regula la alimentación de aire, el vacío generado por la aspiración del motor, la válvula (9) libera la sobrepresión del burbujeador figura 4-3.

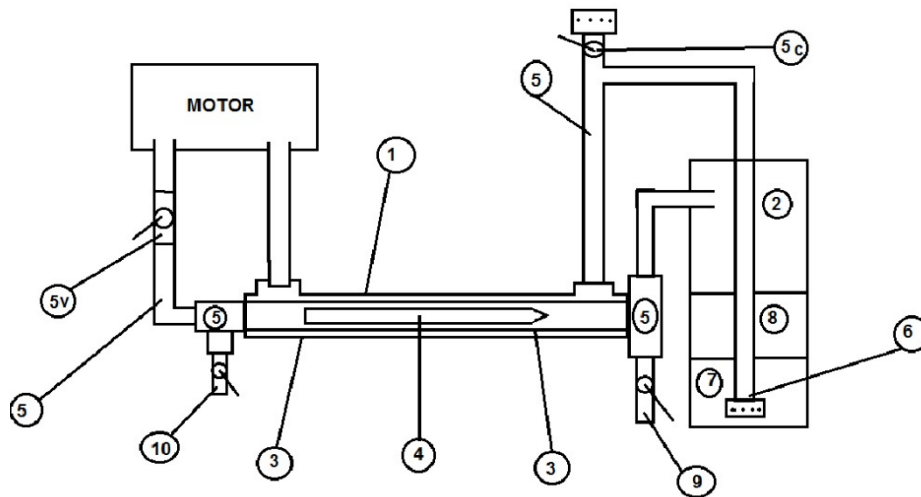


Figura 4-3. Elementos del sistema GEET

Fuente: Propia

3.5 Resultados obtenidos en investigaciones del sistema *GEET*

Al encaminarnos en las experiencias y rendimientos obtenidos utilizando el sistema *GEET*, son variables y abundantes que se pueden encontrar fácilmente en internet como: videos, foros, exposiciones, documentales.

(BOCAF, 2010) Tiene una gran información acerca del sistema, pues el fin de esta es la difusión de inventos y tecnología de energía libre.

La figura 4-3 indica los elementos del sistema *GEET* de Paul Pantone con esta figura se ha logrado incorporar por ejemplo, en maquinaria agrícola, helicópteros (Figura 5-3).



Figura 5-3. Sistema GEET acoplado a maquinaria agrícola y helicópteros

Fuente: (BOCAF, 2010)

El funcionamiento del sistema se ha comprobado en generadores eléctricos de baja potencia



Figura 6-3. Sistema *GEET* acoplado a un MCI de baja potencia

Fuente: (BOCAF, 2010)

En Ecuador es limitada la información acerca de investigaciones realizadas sobre el sistema *GEET*, siendo las más principales la: Evaluación Energética del Sistema Pantone en Motores de Combustión Interna de Potencias entre 0,5 y 5Kw la cual tiene como resultado que un sistema híbrido obtenía mejores resultados como aumento del tiempo de funcionamiento en un 16,28% , ahorro de combustible en un 13,6% y reducción de la potencia de salida 4,63%, sin embargo el motor reduce considerablemente el monóxido de carbono en 67,25% ppm y la eficiencia de combustión aumenta en 19,2%.

Por otra parte se puede tomar en cuenta un experimento realizado en las instalaciones de la Universidad Nacional de Loja donde fue acoplado un sistema *GEET* a un generador eléctrico de 1kw mostrado en la figura 7-3.



Figura 7-3. Experiencia realizada en la Universidad Nacional de Loja

Fuente: <http://www.youtube.com/watch?v=qQydpKa6mYM>.

Dentro del experimento realizado en la universidad de Loja, detallan un rendimiento mejor con el acople del sistema *GEET* .Esta referencia, crea una expectativa para un desarrollo de una réplica con el fin de comprobar los resultados obtenidos en esta investigación.

El sistema G es llamado así por un agricultor, que mantuvo en un tractor el sistema original de Paul Pantone la diferencia fue que se mantenía la inyección, y solo hacía pasar agua por el reactor, producía vapor arrastrando pequeñas gotas, que entraban en el reactor con su salida al filtro de admisión del motor. Regulando la aspiración conseguía el flujo deseado solo tenía que modificar el escape para que su invento entrara en legalidad.

Quizás no es tan efectivo como el carburante agua del que se habla en el sistema GEET pero parece que se obtiene ganancias entre el 10 y 40% aunque esta ganancia puede ser variable. Un fabricante de coches tiene que garantizar su funcionamiento lo que ahora todavía no se puede lograr. (BOCAF, 2010)

Jean Louis Naudin, siguiendo los planos de Paul Pantone logro realizar un experimento en una cortadora de césped de 4 tiempos fabricado por materiales de fácil acceso para las personas la definición de sus sistema es un “ generador de plasma con reacción endotérmica” dentro de su experimento realizo 2 pruebas que se llevaron con éxito. Naudin certifica que el sistema funciona. (BOCAF, 2010).

Y por último se encontró una tesis de Christophe Martz titulada *Elaboration d'un banc d'essai et caractérisations du procédé GEET de P. Pantone à reformage d'hydrocarbures*. Los resultados obtenidos en rendimiento son poco significativos ya que al ser un motor adaptado a gasolina no disponía de avance de encendido sin embargo en los análisis de gases por cromatografía se consta una desaparición de carbono.

En los gases de salida hacia el motor no se encontró hidrogeno, pero si un gas hidrogenado de bajo peso molecular con olor a éter y con una volatilidad similar a la del hidrogeno. El registro de temperaturas dentro del reactor, indica una zona muy caliente de 400 °C en el lado de la entrada de gases, seguida, y casi adyacente e inmediata, de una más fría, 100 °C; indicaría reacciones exotérmicas y endotérmicas. (Christophe, 2001)

CAPITULO IV

4. CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR EMISIONES VEHICULARES

4.1 Problemática

Sin duda las prestaciones y beneficios que ha brindado la invención del *MCI* Alternativo, han sido como una base primordial para el desarrollo y bienestar de la sociedad en general. Sin embargo, a pesar de éstas grandes utilidades que presta el *MCI*, en la actualidad se ha vuelto un problema en cuanto a su uso, debido a los nuevos conceptos mundiales sobre conciencia ecológica: *sostenibilidad* y *sustentabilidad* del medio ambiente, es decir garantizar el uso eficiente de los recursos energéticos en el accionamiento de los *MCI* y de manera que el impacto sea el mínimo posible, por lo que se estaría conservando de alguna forma el buen vivir para las futuras generaciones.

4.2 Situación Nacional

En Ecuador el parque automotor ha tenido un incremento del 113% esto en los últimos 10 años, aunque con una reducción de importación en el 2015 se ofertaron 83 439 vehículos livianos en todo el Ecuador. En el 2014 fueron 128 090. Resolución tomada por el Comité de Comercio Exterior. (Comex, 2014). El crecimiento de toda la flota vehicular ascendió a un ritmo anual entre el 10% y 12% esto en la ciudad de Quito. En los dos últimos años se sumaron casi 100 000 vehículos nuevos. 36 000, en el 2013, y 62 205 en el 2014, según información de la Agencia Metropolitana de Tránsito AMT (Figura 23). (Comisión de Tránsito del Ecuador, 2011)

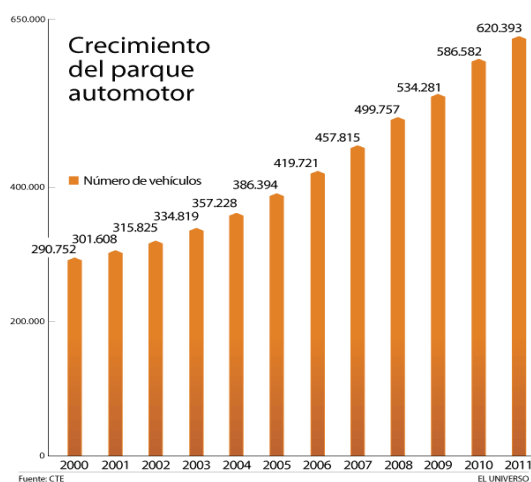


Figura 1-4. Crecimiento del parque automotor

Fuente: (Comisión de Tránsito del Ecuador, 2011)

4.2.1 *Políticas Básicas Ambientales del Ecuador*

El Ministerio del Ambiente del Ecuador es la cartera de estado o ministerio encargada de la política ambiental del Ecuador.

Es la que ejerce el rol rector de la gestión ambiental, que permita garantizar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado con el objetivo de hacer del Ecuador, una nación que conserva y usa sustentablemente su biodiversidad, mantiene y mejora su calidad ambiental, promoviendo el desarrollo sustentable y la justicia social, reconociendo al agua, suelo y aire como recursos naturales estratégicos.

Además también existe “el impuestos verde” que es un impuesto de matriculación cuya misión es regularizar las emisiones vehiculares de gases de combustión, esto contribuye a financiar tareas contra la contaminación, a condición de que tales impuestos sean planificados, sobre una base de datos que justifiquen su creación y en todo lo posible se dirijan hacia quien realmente es responsable de la polución ambiental; mas no ser sólo una solución presupuestaria gubernamental (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2014)

4.2.2 *Límites permisibles de contaminación en el Ecuador*

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002 vigente, los límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina marcha mínima o ralentí (prueba estática) se muestra en la figura 24. Y para los límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina (prueba dinámica) tanto para vehículos europeos como americanos se muestran en las tablas 1-4, 2-4 y 3-4.

Tabla 1-4. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática)

Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **	0 - 1 500 **	1 500 - 3 000 **
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1 000	1 200

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

Fuente: (INEN, 2002 p. 4)

Tabla 2-4. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas g/ensayo SHED
Vehículos Livianos			2,10	0,25	0,62	FTP - 75	2
Vehículos Medianos	≤ 3 860	≤ 1 700	6,2	0,5	0,75		2
		1 700 - 3 860	6,2	0,5	1,1		2
Vehículos Pesados**	> 3 860 =		14,4	1,1	5,0	Transiente pesado	3
	< 6 350						
	> 6 350		37,1	1,9	5,0		4

* prueba realizada a nivel del mar
 ** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power-hora)

Fuente: (INEN, 2002 p. 5)

Tabla 3-4. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso de Referencia (kg)	CO g/km	HC + NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas g/ensayo SHED
M1 ⁽¹⁾	≤ 3 500		2,72	0,97	ECE 15 + EUDC	2
M1 ⁽²⁾ , N1		< 1 250	2,72	0,97		2
		> 1 250 < 1 700	5,17	1,4		2
		> 1 700	6,9	1,7		2

* Prueba realizada a nivel del mar
⁽¹⁾ Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2,5 toneladas
⁽²⁾ Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2,5 toneladas

Fuente: (INEN, 2002)

En Ecuador las emisiones vehiculares han ido aumentando a través de los años es por eso que se ha optado por los vehículos híbridos; el mejoramiento del octanaje de las gasolineras y reduciendo el consumo de azufre tanto en la gasolina extra como en la súper. En la ciudad de Quito se ha realizado un estudio de gases contaminantes donde se obtuvo que el 29% del aire en la capital es óptimo el 70% aceptable y el 1% sobrante crítico y estos porcentajes de gases en el aire crean enfermedades en las personas que viven allí, es por esto que a nivel nacional se ha invertido en refinerías para mejorar el combustible pero esta no es la única solución además existen a nivel mundial sistemas que nos permiten reducir las emisiones de gases contaminantes. (Diego Puente Vallejo, 2015)

4.2.3 Análisis de los gases de escape en los motores de combustión interna

El analizador de gases permite obtener la composición química de los mismos en porcentajes que conlleva a diagnósticos importantes del funcionamiento del motor los valores normales para un vehículo a inyección son:

CO menor a 2%
CO₂ mayor al 12%
Ppm HC=150
O₂ menor 2%

Los parámetros que se muestran a continuación determinan un diagnóstico de lo que puede estar ocurriendo en el motor entonces si se tiene un porcentaje de 2% de CO se refiere a una combustión incompleta o mezcla rica un CO₂ bajo que representa una mala mezcla o encendido defectuoso los HC es muy pequeña un alto grado de HC indica mezcla rica, mala combustión, escape o aceite contaminado. Por otro lado para el O₂ alto se debe a una mezcla pobre, escape roto y para los NO_x se debe a las altas temperaturas en el cilindro tanto como altas presiones en el mismo. (Biodisol, 2014)

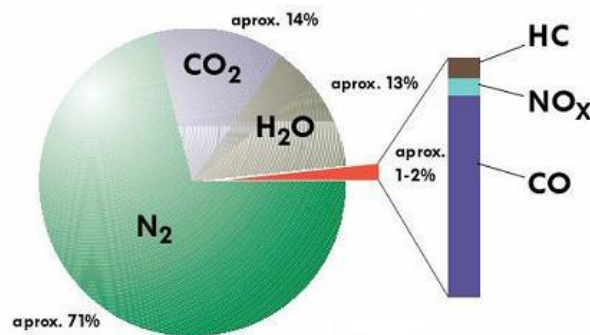


Figura 2-4. Composición de los gases de escape en motores de gasolina
Fuente:(biodisol, 2014)

4.2.4 Gases Inofensivos para la salud de los humanos

4.2.4.1 Nitrógeno

Es un gas inerte que se encuentra presente en el aire que respiramos en una concentración del 79%. Debido a las altas temperaturas existentes en el motor, el Nitrógeno se oxida formando pequeñas cantidades de Óxidos de Nitrógeno, aunque sea un gas inerte a temperatura ambiente. (Biodisol, 2014)

4.2.4.2 Oxígeno

Es uno de los elementos indispensables para la combustión y se encuentra presente en el aire en una concentración del 21%. Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el Oxígeno no

podrá oxidar todos los enlaces de Hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape. (Biodisol, 2014)

4.2.4.3 Vapor de agua

Se produce como consecuencia de la combustión, mediante la oxidación del Hidrógeno, y se libera junto con los gases de escape. (Biodisol, 2014)

4.2.4.4 Dióxido de Carbono

Producido por la combustión completa del Carbono no resulta nocivo para los seres vivos y constituye una fuente de alimentación para las plantas verdes, gracias a la fotosíntesis. Se produce como consecuencia lógica de la combustión, es decir, cuanto mayor es su concentración, mejor es la combustión. Sin embargo, un incremento desmesurado de la concentración de Dióxido de Carbono en la atmósfera puede producir variaciones climáticas a gran escala (el llamado efecto invernadero). (Biodisol, 2014)

4.2.5 Gases Contaminantes

4.2.5.1 Hidrocarburos

Dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El Benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas.

El Benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer. Su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de Aldehídos y Fenoles. La presencia simultánea de Hidrocarburos, Óxidos de Nitrógeno, rayos ultravioleta y la estratificación atmosférica conduce a la formación del smog fotoquímico, de consecuencias muy graves para la salud de los seres vivos. (Biodisol, 2014)

4.2.5.2 Monóxido de Carbono

En concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno

desde los pulmones a las células del organismo, en Carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales. La falta de oxígeno en la combustión hace que ésta no se produzca completamente y se forme Monóxido de Carbono en lugar de Dióxido de Carbono. En un vehículo, la aparición de mayores concentraciones en el escape de CO indica la existencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno. (Biodisol, 2014)

4.2.5.3 Plomo

Es el metal más peligroso contenido en los aditivos del combustible. Inhalado puede provocar la formación de coágulos o trombos en la sangre, de gravísimas consecuencias patológicas. Se encuentra presente en las gasolinas en forma de Tetra-etilo de Plomo y se utiliza en su producción para elevar su índice de octano y, también, en motorizaciones antiguas como lubricante de los asientos de válvulas. En las gasolinas sin Plomo se ha sustituido este metal por otros componentes menos contaminantes que también proporcionan un alto índice de octano. (Biodisol, 2014)

4.2.5.4 Partículas de hollín

Se llama hollín a las partículas sólidas de tamaño muy pequeño, desde unos 100 nanómetros (100 nm) hasta 5 micras (5 µm) como máximo es un tipo de negro de carbón que se produce por la combustión incompleta de combustibles ricos en compuestos aromáticos que se queman en recipientes planos. Se caracteriza por una amplia distribución de tamaños de partícula (hasta 100 nm). Puede causar daños en el sistema respiratorio si es inspirado en cantidad. (Biodisol, 2014)

4.2.5.5 Óxidos de azufre

El azufre es un elemento natural del petróleo crudo. Los combustibles que se obtienen del petróleo, pueden variar su % de azufre en dependencia del tipo de crudo. Los combustibles pesados normalmente tienen un alto contenido de azufre.

Los combustibles livianos tienen un menor contenido de azufre porque éste puede reducirse o eliminarse durante el proceso de refinación. El contenido de azufre en el combustible afecta a los motores diesel de dos formas diferentes. Una tiene que ver con la contaminación ambiental por la emisión de SO_x de los gases producidos en la combustión y otra directamente a las partes que componen los motores. (Biodisol, 2014)

El dióxido de azufre es el principal causante de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico. El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos. Si bien éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La concentración máxima permitida en los lugares de trabajo es de 2 ppm. (Biodisol, 2014)

4.2.5.6 Óxidos de nitrógeno

Estos no sólo irritan la mucosa sino que en combinación con los Hidrocarburos contenidos en el smog y con la humedad del aire producen Acidos Nitrosos, que posteriormente caen sobre la tierra en forma de lluvia ácida y contaminan grandes áreas, algunas veces situadas a cientos de kilómetros del lugar de origen de la contaminación. (Biodisol, 2014)

4.3 Sistemas y nuevos combustibles creados para la reducción de emisiones contaminantes producidas por el motor.

4.3.1 Sistemas actualmente en el mercado que reducen las emisiones contaminantes

- *SISTEMAS OBD (On board Diagnostics).*- Este sistema fue creado para un auto-diagnóstico del vehículo quien entrega al técnico o propietario información acerca del estado del automóvil esto se logra por sensores actuadores y una centralita (ECU) La cual registra, compara los datos de cada sistema del vehículo, cuando los datos comparados a la ECU no son los correctos, el sistema está fallando, y se enciende la luz piloto de avería en el panel de instrumentos. Con esto se ha logrado que el automóvil trabaje en buenas condiciones. Disminuyendo la contaminación vehicular.
- *Euro I hasta VI.*- Esta normativa está vigente desde 1993 hasta el día de hoy ,y sus parámetros cada vez son más estrictos. Es un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en la unión Europea. (Euro 6, 2014)

4.3.2 *Aditivos para combustible*

Es una sustancia química agregada a un producto para mejorar sus propiedades, en el caso de los combustibles dicha sustancia es utilizada en pequeñas cantidades añadida durante su elaboración por el fabricante, para cambiar las características del mismo y para mejorar sus propiedades.

Hay diferentes características que puede mejorar los aditivos:

- *Octanaje* El compuesto de tetraetilo de plomo que se utilizó durante décadas, pero es muy contaminante y se ha prohibido su uso. El etanol y el MTBE se usan como aditivos para lograr mejor combustión de la gasolina.
- *Oxigenadores* Mejoran la combustión del combustible. Evitando los humos los hidrocarburos no quemados y los restos de carbonilla. Además de mejorar el consumo y la potencia. Aunque no todos estos aditivos aumentan la potencia por no contener productos que aumenten concretamente el OCTANAJE
- *Detergentes* Mejoran la pulverización de la gasolina, la mezcla y el contacto con el oxígeno del aire.

4.3.3 *Calizadores*

Las cuatro sustancias contaminantes más importantes son el monóxido de carbono (CO) los *Cat* hidrocarburos (HC) los óxidos de nitrógeno (NO_x) y la materia partícula (MP). Los gobiernos han fijado límites para sus emisiones. Los fabricantes de vehículos y motores han hecho progresos significativos a lo largo de los años respecto a la reducción de las emisiones de sus motores. Sin embargo se establece que es necesario el postratamiento de los gases de escape. Esto es realizado por el catalizador que transforma los gases contaminantes en inofensivos. Este está compuesto de rodio y paladio los cuales oxidan y reducen, por ejemplo el rodio reduce el NO en N₂ el cual es inofensivo en el medioambiente. (Johnson-matthey, 2010)

En los automóviles a diesel tienen un filtro para atrapa partículas de hollín (DPF), con respecto a la cantidad de azufre se ha logrado reducir de varios miles de partes por millón (1970) hasta menos de 15 o 10 ppm en la actualidad. (Figura 3-4).

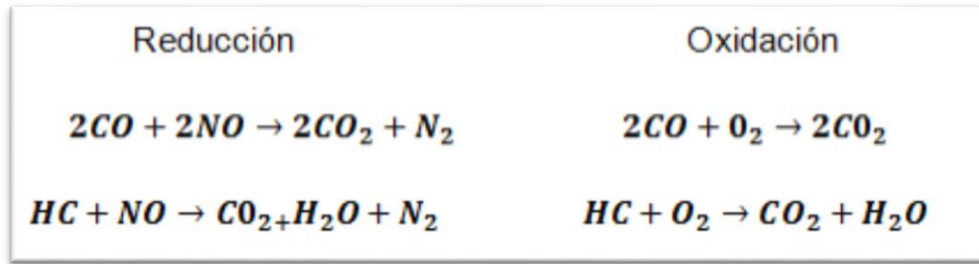


Figura 3-4. Conversión de los gases de escape en un catalizador

Fuente: (Manual de automóviles, Arias-Paz, 2004)

4.3.4 Válvula EGR (recirculación de gases de escape)

La función principal de esta válvula, es permitir el paso de gases quemados, hacia el manifold de entrada para volver a quemarlos en la cámara de combustión.

Estos gases quemados, mezclados con la mezcla aire combustible, disminuyen la velocidad de combustión, reducen las temperaturas elevadas; logrando con esto una reducción de contaminantes NOx (Figura 4-4). (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

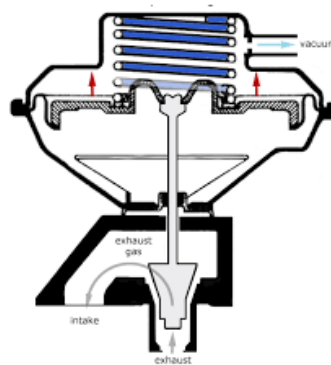


Figura 4-4. -Recirculación de gases de escape

Fuente: (Manual Práctico del Automóvil, Hermógenes Gil Martínez, 2000)

4.4 Sistemas del futuro

4.4.1 Vehículo con pilas de hidrogeno

Estos vehículos utilizan generalmente el hidrógeno en uno de estos dos métodos combustión o conversión de pila de combustible. En la combustión, el hidrógeno se quema en un motor de explosión, de la misma forma que la gasolina.

En la conversión de pila de combustible, el hidrógeno se oxida y los electrones que este pierde es la corriente eléctrica que circulara a través de pilas de combustible que mueven motores eléctricos - de esta manera, la pila de combustible funciona como una especie de batería.

El vehículo con pila de combustible se considera un vehículo de cero emisiones porque el único subproducto del hidrógeno consumido es el agua.

Este sistema aun no es accesible ya que no existe hidrogeno en forma líquida ni gaseoso y su producción no es viable económicamente (Figura 5-4). (hydrogeninmotion, 2015)



Figura 5-4. Vehículos con pila de hidrogeno

Fuente: (hydrogeninmotion, 2015)

4.5.2 *Vehículo solar*

Un vehículo solar es un vehículo propulsado por un motor eléctrico (vehículo eléctrico) alimentado por energía solar fotovoltaica obtenida de paneles solares en la superficie del automóvil, lo que los diferencia de los vehículos de carga solar, en los que se emplea electricidad renovable que obtenida fuera del vehículo. Las celdas fotovoltaicas convierten la energía del sol directamente a electricidad, que puede o bien ser almacenada en baterías eléctricas o utilizadas directamente por el motor (Figura 6-4). (Wales, Universidad de New South, 2012)



Figura 6-4. Vehículo solar

Fuente: (Wales, Universidad de New South, 2012)

4.4.3 Vehículos eléctricos

Esta tecnología viene mucho antes que los motores a combustión interna se desarrollaron, no llegaron al mercado ya que su rendimiento era limitado (32km/h).

Hoy en día están en auge, pero su elevado costo no permite que sea comercializado totalmente. Esto se debe a sus pesadas baterías que son fabricadas de plomo (muy deficiente) y litio el cual es costoso. Estos motores son muy eficientes ya que transforman la energía de las baterías en movimiento en un 90% (Figura 7-4). (Biodisol, 2014)



Figura 7-4. Vehículo Eléctrico

Fuente: (Biodisol, 2014)

CAPITULO V

5. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL SISTEMA *GEET*

5.1 Introducción

Respecto a la información que se ha recolectado de internet para esta investigación se ha adquirido un gráfico del sistema *GEET* mostrado en la fig. 28 el cual servirá como base para el diseño constructivo propuesto. Respecto a la evaluación experimental se tendrá como objetivo la disminución de gases contaminantes producidos por la combustión interna del motor, así mismo la variación del rendimiento con el sistema *GEET* mediante una relación de agua y gasolina.

5.2 Equipos e instrumentación técnica disponible para la investigación

Los resultados satisfactorios de la investigación están relacionados con la cantidad de datos registrados durante el funcionamiento y los datos encontrados en las diferentes bibliografías según los experimentos en motores de baja potencia.

5.2.1 Herramientas:

- Juego de llaves mixtas
- Llave de tubo
- Destornillador tipo plano y estrella
- Rachas, aumentos y dados
- Cierras
- Cortadora de disco para metal
- Flexómetro
- Nivel
- Casco para soldar
- Taladro
- Martillo
- Tornillo de banco
- Soldadora eléctrica
- Soldadora mig

5.2.2 Equipos:

- Anemómetro
- Analizador de gases
- Gato hidráulico
- Dinamómetro de rodillos
- Manómetro
- Vacuómetro
- Motor de 900cc
- Envase de medición de volumen
- Cronometro

5.2.3 Insumos o fungibles:

- Electrodo
- Combustible (gasolina)
- Agua

Esta investigación hace uso de las instalaciones y herramientas de los talleres Automotriz FINECAR ubicado en la ciudad de Ambato y Auto Extreme Racing ubicado en la ciudad de Riobamba, y del equipamiento disponible en los laboratorios de la Facultad de Mecánica pertenecientes a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Figura 1-5. Talleres Automotriz FINECAR y Auto Extreme Racing

Fuente: Propia

5.2.4 Descripción de equipos

Anemómetro

Instrumento para la medición de la velocidad, caudal del aire en especial del viento también es capaz de medir la temperatura a la que se encuentra el caudal de aire que se esté midiendo.



Figura 2-5. Anemómetro

Fuente: (Kestrel, 2015)

Analizador de gases

Instrumento que permite registrar datos en porcentaje de CO₂, CO, HC, O₂, Lambda (relación aire combustible) Existentes en los gases de escape.



Figura 3-5. Analizador de gases

Fuente: (Maha, 2014)

Dinamómetro de rodillo

Es un instrumento de medición empleado para determinar el par mecánico o torque de cualquier fuerza motriz rotatoria siendo aplicado para los motores de combustión interna y motores eléctricos este dinamómetro absorbe la energía mecánica generada por el motor por medio de un

frenado parcial proveniente del mismo dinamómetro de esta forma se obtienen los datos de torque del motor que se esté analizando.



Figura 4-5. Dinamómetro de rodillo

Fuente: (Maha, 2014)

Gato hidráulico

Es una herramienta la cual nos sirve para elevar pesos de una forma fácil y segura.



Figura 5-5. Gato hidráulico

Fuente: Propia

Manómetro y Vacuómetro

Son instrumento de medición de presión manométrica y vacío existentes en un sistema como en un motor eléctrico o un motor de combustión interna cuyo valores pueden determinar posibles fallas existentes en los mismos.



Figura 6-5. Manómetro y Vacuómetro

Fuente: Propia

Motor de Combustión Interna de 900cc.

Para este proyecto experimental se utilizara un motor de 900 centímetros cúbicos en el cual se harán las respectivas pruebas de torque, potencia, consumo de combustible, gases contaminantes con y sin el sistema de alimentación *GEET*.



Figura 7-5. Motor de Combustión Interna de 900cc

Fuente: Propia

Medidor de volumen

Recipiente con escala graduada en mililitros, para medir las proporciones de gasolina y agua.



Figura 8-5. Medidor de volumen

Fuente: Propia

Cronometro

Reloj de gran precisión que permite medir intervalos de tiempo muy pequeños, hasta fracciones de segundo, este servirá para medir el tiempo de consumo del motor 900cc.



Figura 9-5. Cronometro

Fuente: Propia

5.3 Diseño de los prototipos GEET y acople al motor de combustión interna

El sistema Pantone se ha diseñado considerando un motor de 900cc a gasolina, se ha propuesto un diseño con materiales que se pueden encontrar en el mercado nacional y cumplan con los requisitos mínimos estructurales, mostrados en los tabla 4-5, 5-5, 6-5, 7-5 y 8-5.

5.3.1 *Requerimientos del sistema, parámetros de diseño*

El sistema *GEET* como se muestra en el esquema de la figura 3-3. se compone de un reactor y un burbujeador los cuales son los elementos principales para su funcionamiento, los materiales a elegirse tanto para el reactor como el burbujeador deben soportar altas temperaturas, deben ser de gran conductividad térmica para transferir el calor proporcionado de los gases de escape hacia la mezcla de agua-gasolina y lograr una buena vaporización de los mismos.

El burbujeador debe ser resistente a altas presiones, debe ser hermético para que no existan pérdidas de gases (pérdidas de eficiencia), por seguridad ante posibles chispas que inflamen el combustible.

El material debe proporcionar una buena limpieza del sistema, no deben ser materiales que generen minerales por el paso de agua o vapor de agua teniendo como resultado a lo largo del tiempo una obstrucción en los conductos, se debe evitar la oxidación pues las impurezas del mismo pueden crear cambios en el funcionamiento del motor.

Los tubos del reactor deben ser sin costura para evitar la pérdida de turbulencia generada por los gases del nuevo combustible *GEET* al recorrer a través de la varilla maciza.

La varilla maciza debe tener puntos de soldadura en sus extremos para sujetarla y centrarla en el tubo interior del reactor.

5.3.1.1 Características técnicas del motor de 900cc.

Tabla 1-5. Características técnicas del vehículo Suzuki Forza 1.

TIPO	SOHC 3 cilindros en línea/cuatro tiempos.
MATERIAL	Aluminio bloque/cabezote/admission
PESO	60.1 kg(134.5 lbs)/ completamente armado
CILINDRADA	993cc (61 in cu)
DIAMETRO X CARRERA	74x77 (mm)/ 2.91x3.03 (in)
RELACION DE COMPRESION	9.5:1
POTENCIA	48Hp @ 5100 rpm
TORQUE	57 lbs-ft @ 3200 rpm
CARBURADOR	AISAN descendente, doble cuerpo
ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE	Bomba mecánica
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	8.3 galones
TIPO DE COMBUSTIBLE	Gasolina extra 82 Octanos
SISTEMA DE ESCAPE	Simple
SISTEMA DE ENCENDIDO	Electrónico
BUJIAS	NGK BPR6ES
ORDEN DE ENCENDIDO	1--3—2
SISTEMA DE REFRIGERACION	Circulación forzada de agua por bomba
CAPACIDAD REFRIGERANTE	4.1 litros
LUBRICANTE	10W40
PRESION DE ACEITE	42-54 psi @ 3000rpm
ALTERNADOR	55amp
BATERIA	400 cca
CAMPO DE REVOLUCIONES	800-5700 rpm

Fuente: (Haynes)

5.3.1.2 Consideraciones técnicas para el diseño del sistema GEET

Volumen de control

Para efectos de estas pruebas se han tomado las cargas del motor a 900 RPM, 2000 RPM, 3500 RPM y con la ayuda del anemómetro se midió el caudal, la velocidad y temperatura. Para la obtención de los valores de vacío de admisión y presión se ocupara un vacuómetro y un manómetro respectivamente, teniendo los datos que a continuación se muestran. Tabla 2-5 y 3-5.

Tabla 2-5. Datos obtenidos en la múltiple admisión

ADMISIÓN RPM	Velocidad [m/s]	Caudal [(m³)/h]	Temperatura [C]	Vacío [in- hg]
900	6	170	22.4	11.5
2000	15.23	418	24.6	11
3500	14.03	410	25.1	10.8

Fuente: Propia

Tabla 3-5. Datos obtenidos en el múltiple escape

ESCAPE	Velocidad[m/s]	Caudal [(m³)/h]	Temperatura[C]	Presión [in- hg]
900	14.78	611.66	220	-----
2000	21.66	567.66	240	-----
2500	25.83	749.66	225	-----

Fuente: Propia

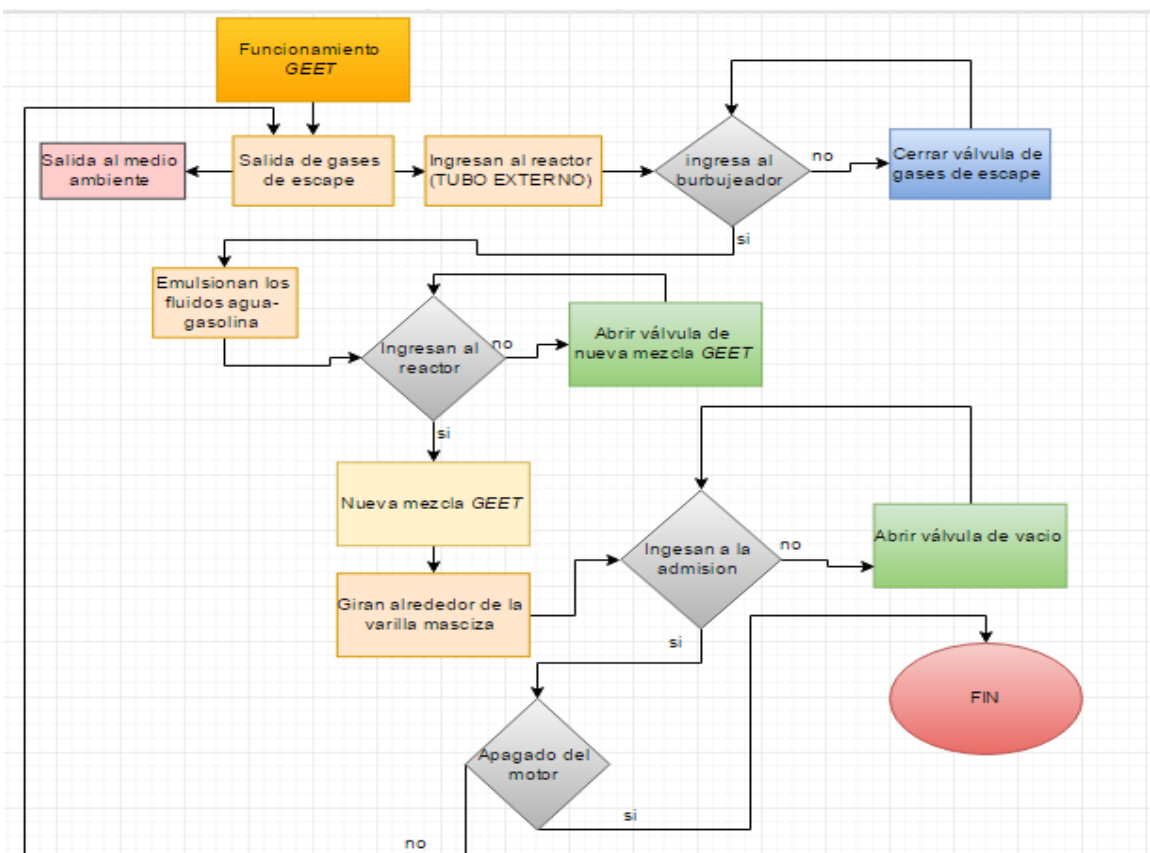
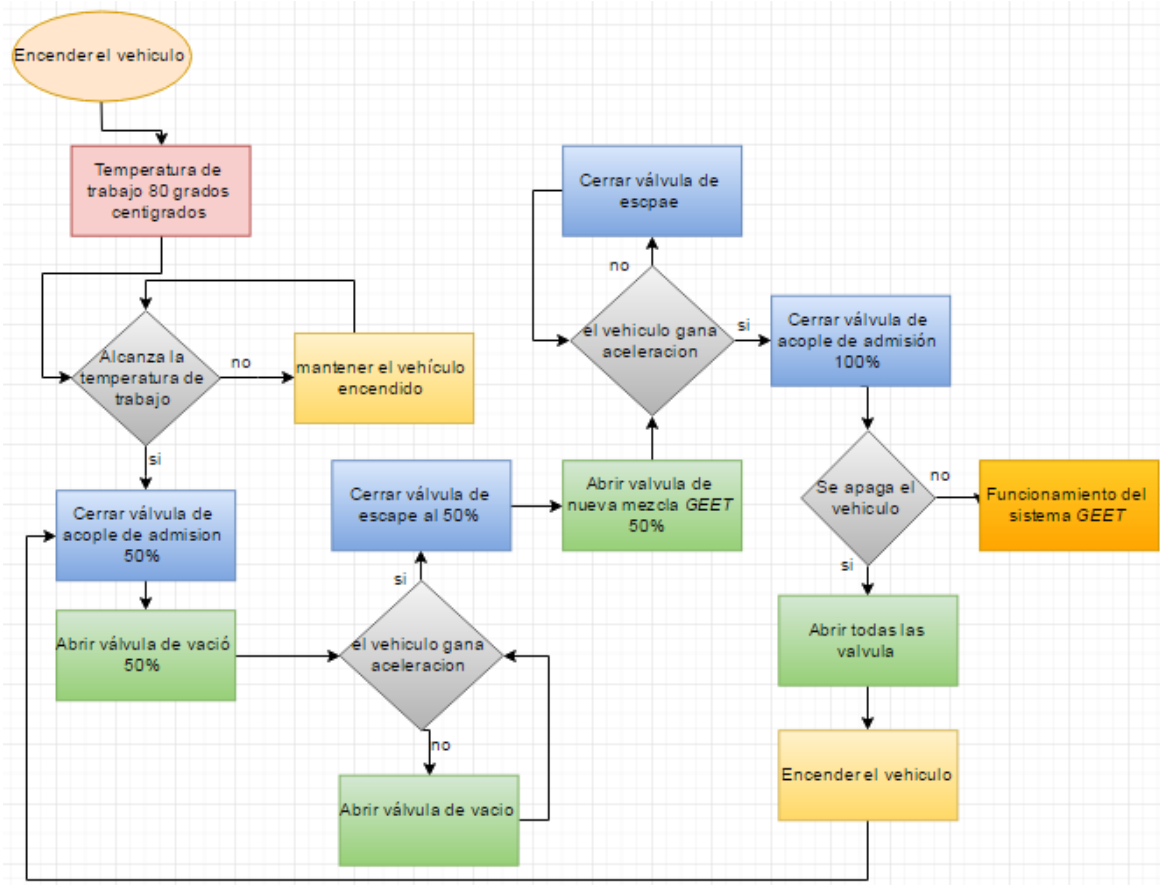


Figura 10-5. Flujograma del funcionamiento del sistema *GEET*

Fuente: Propia

5.3.2 Accesorios para la construcción del sistema GEET

Los anexos A, B, C, D, E, F, G, H muestran los planos del sistema GEET, el burbujeador, el reactor y el ensamble general del sistema además se muestran acoples de admisión, escape y accesorios que nos permitirán la conexión de los subsistemas entre sí, a continuación se indican los materiales utilizados para el montaje de los subsistemas, acoples y accesorios.

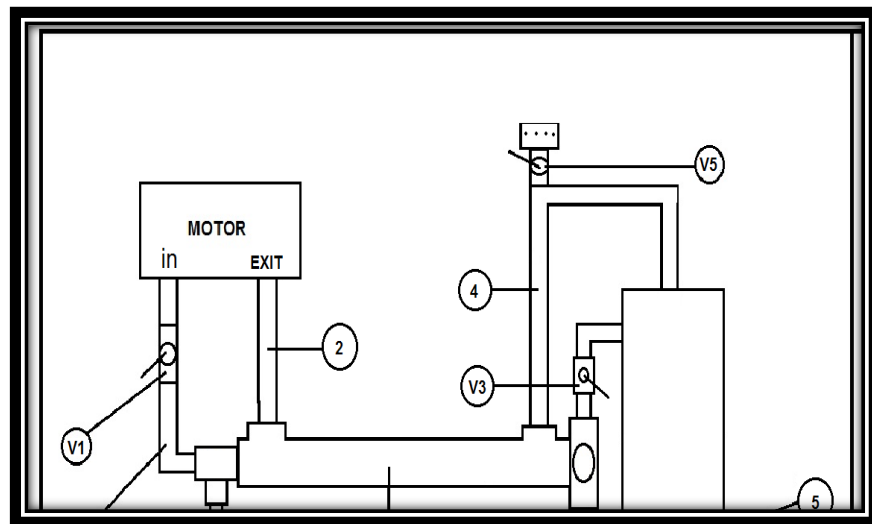


Figura 11-5. Subsistemas del Sistema GEET

Fuente: Propia

Tabla 4-5. Accesorios para la construcción del reactor

Cantidad	Modelo	Material
2	Bushing de 1" a ½" in.	Hierro galvanizado
2	Bushing de ¾" a ½" in.	Hierro galvanizado
2	Unión Te 1" a ¾" in.	Hierro galvanizado
1	Eje macizo diámetro 5/8" in.	Acero inoxidable
1	Tubo cedula 40 de 1" in.	Acero negro
1	Tubo cedula 40 de ½" in.	Acero negro
2	Unión Te ½" in.	Hierro galvanizado
4	Neplo ½" x 2" in.	Hierro galvanizado
3	Válvula de esfera de ½" in.	Hierro galvanizado
Modelo: medidas nominales (nombre como se encuentran en el mercado).		

Fuente: Propia

Tabla 5-5. Accesorios para la construcción del burbujeador

Cantidad	Modelo	Material
1	Tapón macho de 1" in.	Hierro galvanizado
1	VRL diámetro (agarre) 5.5mm x 100mm	Acero al carbono
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
1	Tubo ced. 40 ½" x 50mm.	Acero galvanizado
1	Plancha espesor 3mm	Acero al carbono
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
1	Tubo ced.40 ½" x 175mm.	Acero galvanizado
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
1	Plancha espesor 3mm	Acero galvanizado
Modelo: medidas nominales (nombre como se encuentran en el mercado nacional).		

Fuente: Propia

Tabla 6-5. Accesorios para la construcción del acople de admisión

Cantidad	Modelo	Material
4	Neplo ½" in x 35 mm.	Acero galvanizado
2	Placa de 100 x 60 x 5mm espesor	Acero al carbono
1	Neplo ½" x 2" in.	Acero al carbono
1	Unión ½ " in.	Hierro galvanizado
1	Válvula de esfera 1/2" in.	Hierro galvanizado
1	Manguera de ½" x 75 mm.	Caucho sintético.
2	Abrazaderas de ¾" in.	Hierro galvanizado
1	Neplo ½" x 30mm	Hierro galvanizado
Modelo: medidas nominales (nombre como se encuentran en el mercado nacional).		

Fuente: Propia

Tabla 7-5. Accesorios para la construcción del acople de escape

Cantidad	Modelo	Material
1	Platina de 100 x 6mm espesor	Acero al carbono
1	Tubo redondo 5 pulg x 4mm	Acero negro
2	Plancha espesor 5mm	Acero al carbono
Modelo: medidas nominales (nombre como se encuentran en el mercado nacional).		

Fuente: Propia

Tabla 8-5. Accesorios para conectar los distintos subsistemas entre si

Cantidad	Modelo	Material
2	Manguera flexible 400mm.	Acero inoxidable
2	Universal de ½” in.	Hierro galvanizado
7	Neplo de ½” x 2” in	Hierro galvanizado
2	Neplo perdido ½” in.	Hierro galvanizado
5	Unión Codo ½ “ in.	Hierro galvanizado
1	Unión te ½” in.	Hierro galvanizado
1	Unión ½” in.	Hierro galvanizado
1	Unión codo 45° ½” in.	Hierro galvanizado
Modelo: medidas nominales (nombre como se encuentran en el mercado nacional).		

Fuente: Propia

5.3.3 Construcción de los subsistemas del sistema GEET

5.3.3.1 Construcción del reactor

Para construir el reactor se justifica bajo la siguiente hipótesis: “Aumentando la longitud del reactor aumenta el área de transferencia de calor y por tanto aumenta la eficiencia del motor”. En otras palabras se trata de encontrar una respuesta a la siguiente pregunta, ¿Aumentando la longitud del reactor se obtiene mayor rendimiento del sistema GEET Figura 41.- Construcción de los reactores A, B y C

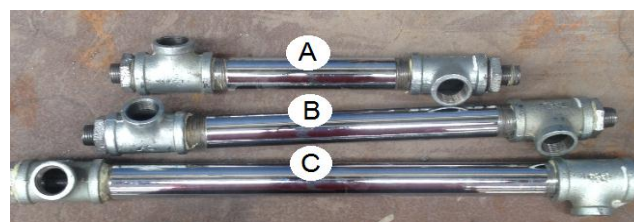


Figura 12-5. Tipos de reactores

Fuente: propia

De acuerdo a lo anterior se construyeron 3 tipos de reactores (A, B y C) ver figura 44 en el que se diferencia la longitud de cada uno además los tubos negros que se ocuparon para fabricar los elementos del reactor fueron cortados, mecanizados y cromados como se muestran en las figuras 13-5y 14-5

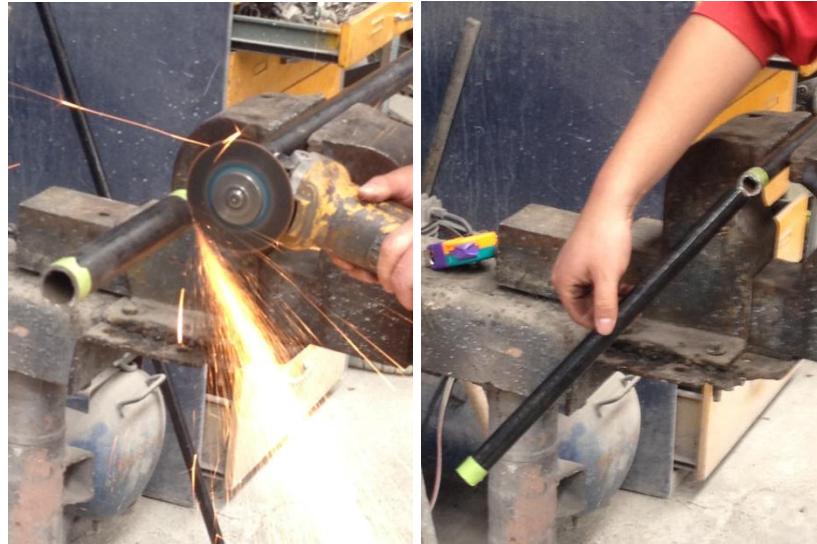


Figura 13-5. Construcción de los reactores A, B y C

Fuente: propia



Figura 14-5. Mecanizado y cromado de los tubos de 1'' y 1/2''

Fuente: propia

En la figura 15-5 se evidencia el uso de una varilla maciza que va en el tubo interno del reactor para los tres reactores se ocupa el mismo diámetro de la varilla maciza (5/8'').

En la bibliografía recopilada, la varilla maciza debe tener una tolerancia de 1mm entre el tubo que la contiene para lograr tolerancia se han colocado 3 apoyos en la varilla de cada extremo, los cuales fueron soldados y pulidos creando la tolerancia como muestra la figura 47.



Figura 15-5. Apoyos soldados y pulidos

Fuente: propia



Figura 16-5. Construcción de los elementos para el reactor A, B y C.

Fuente: propia

En el cuadro 9-5 se muestran las variaciones que se realizaron con los reactores para la ejecución de las pruebas experimentales.

Tabla 9-5. Variación en los reactores para pruebas experimentales

Tipo de Reactor	Longitud (mm)	Diámetro de la varilla maciza (mm)
A	360	15.88
B	460	15.88
C	560	15.88

Fuente: propia

El objetivo de la cuadro 9 es evidenciar que tipo de reactor resulta más eficiente para operar acoplado al motor de 900cc. Los planos constructivos de los reactores se muestran en el anexo A, B, C.

5.3.3.2 Construcción del burbujeador



Figura 17-5. Burbujeador de 5300 cm³ de capacidad.

Fuente: propia

El burbujeador de la figura 47, es el recipiente donde se almacena agua y gasolina, para ello se utilizó 8 placas de 3mm de espesor soldadas entre sí con un recubrimiento de Zinc para evitar la corrosión generada en el burbujeador y fibra de vidrio que sirve como aislante térmico, en la figura 47 se pueden observar 4 orificios 2 de los cuales son acoples para conectar los otros subsistemas y los sobrantes son para colocar y purgar el agua y la gasolina del burbujeador. Para mayores detalles de los planos constructivos puede referenciarse al anexo D.

El burbujeador tiene un volumen total de 5300 cm³. Los cuales están ocupados por combustible *GEET* (gasolina-agua) en estado líquido, combustible *GEET* en estado gaseoso y gases de escape.

5.3.3.3 Construcción del acople de admisión

Para construir el acople de admisión se partirá de que este debe tener una válvula la cual desacople totalmente el carburador y acople el conducto que proviene del reactor, permitiendo que ingrese

el combustible tratado por el sistema *GEET* al motor de combustión interna. Para evitar pérdidas del gas-combustible el acople deberá estar sujeto por los mismos pernos del carburador y tener empaques en la parte superior como en la parte inferior Figura 18-5.

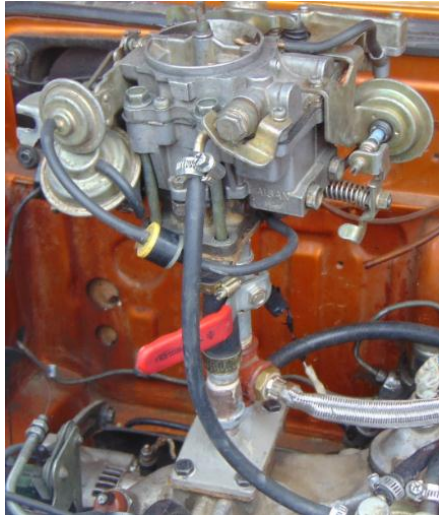


Figura 18-5. Conexión del acople de admisión desde el motor al carburador

Fuente: propia

Como se observa en la figura 19-5, el acople de admisión está conformado por dos placas de 5mm en las cuales se han soldado 2 tubos de hierro galvanizado de media pulgada.



Figura 19-5. Construcción de las placas para el acople de admisión

Fuente: propia

Estas placas están unidas por una “Te” y una válvula, esta habilitara o no el paso del combustible proveniente del carburador como lo muestra la figura 20-5.



Figura 20-5. Vista general del acople de admisión

Fuente: propia

5.3.3.4 Construcción del acople de escape

Para construir el acople de escape se partirá de los requerimientos mencionados para este diseño, dicho material debe ser resistente a las altas temperaturas, que sea lo más corto posible para ocupar toda la energía calorífica en el reactor, al momento de ensamblar el acople este no debe estar en contacto con partes del motor que puedan quemarse como los cables de bujías. Ver figura 21-5.



Figura 21-5. Ensamble del acople de escape en el motor

Fuente: propia

Para acoplarlo a la parte inferior se dispone de una platina que sirva como conexión al múltiple de escape, esta se une por medio de dos pernos. Ver figura 22-5.



Figura 22-5. Ensamble del acople de escape al múltiple de escape

Fuente: propia

Seguidamente en la parte superior un acople que une el escape con la entrada del reactor, como se representa en la figura 23-5.



Figura 23-5. Ensamble del acople de escape al reactor

Fuente: propia

5.3.4 Implementación del sistema GEET en el motor de 900 cc

Para el montaje del sistema *GEET*, se debe seguir los pasos de desmontaje y montaje respectivamente del sistema *GEET* en un motor de 900cc. A continuación:

Paso 1.- Desmontaje del filtro de aire y el carburador: Se desmonta el filtro de aire que se encuentra en la parte superior del carburador, se debe tener en cuenta que el sistema *GEET* funciona con el encendido del motor y este debe adquirir la temperatura normal de funcionamiento de 80 grados centígrados, luego el carburador debe ser desacoplado (mediante válvulas) para que el motor trabaje solo con el sistema *GEET*, por esta razón se monta el acople de admisión, entre el carburador y el múltiple de admisión. Figura 18-5.

Paso 2.- Desmontaje de los pernos de la tapa válvulas y montaje de los soportes de fijación del reactor: Los cuales se construyeron con el fin de crear un espacio donde el reactor pueda descansar y para crear una estabilidad del mismo en el motor como se puede evidenciar en la figura 24-5.



Figura 24-5. Desmontaje de los pernos del tapa válvulas y soporte de fijación del reactor
Fuente: propia

Paso 3.- Desmontaje del tubo de escape y montaje del acople de escape: Se Desmonta el tubo de escape desenroscando los pernos que lo sujetan al múltiple de escape, luego se procede a instalar el nuevo acople diseñado para el sistema *GEET*, Como la unión tiene la misma geometría se utilizan los mismos pernos originales para la correcta sujeción. Figura 25-5.



Figura 25-5. Acople de escape para el sistema *GEET*
Fuente: propia

Paso 4.- Montaje del reactor en los soportes de fijación: Se procede a instalar el reactor en los soportes de fijación y se lo sujeta mediante abrazaderas para prevenir vibraciones que originen futuras fugas en las uniones. Figura 26-5.



Figura 26-5. Montaje del reactor en los soportes de fijación

Fuente: propia

Paso 5.- Montaje del reactor al acople de escape: Se procede a conectar el reactor con el acople de escape por medio de accesorios de tubería galvanizada los cuales soportan la temperatura del motor.

Paso 6.- Montaje del reactor al acople de admisión: El acople de admisión se une con el reactor mediante una manguera que conducirá el vacío generado al múltiple de admisión y el nuevo combustible GEET esta mezcla es regulada por una válvula. Figura 27-5.



Figura 27-5. Montaje del reactor al acople de admisión

Fuente: propia

Paso 7.- Montaje del reactor con el burbujeador: Para unir el burbujeador con el reactor primero se desmonta el tanque reservorio de agua del parabrisas del vehículo como se muestra en la figura 28-5.



Figura 28-5. Desmontaje del tanque reservorio de agua del parabrisas

Fuente: propia

Una vez desmontado el tanque se coloca el burbujeador diseñado para el espacio generado en el chasis del vehículo .Figura 29-5.



Figura 29-5. Acople del burbujeador en el chasis

Fuente: propia

Las salidas entre el reactor y burbujeador deben estar alineadas entre sí para poderlos conectar con los accesorios de tubería galvanizada y las válvulas que regulan el paso de los gases provenientes del tubo de escape. Figura 30-5.



Figura 30-5. Montaje del reactor con el burbujeador

Fuente: propia

Como dato adicional respecto a las válvulas deben ser seguras en su apertura y cierre ya que esto puede provocar dificultades en el correcto funcionamiento del motor, además que su calibración modifica en cierto grado las revoluciones del motor y por ende su potencia, el funcionamiento de cada válvula se encuentra explicado en el apartado 3.3 que habla sobre la mecánica y fundamentos del sistema *GEET*.

5.4 Fundamentación y justificación de variables técnicas que intervienen en el sistema *GEET*

Una vez construido y montado el sistema geet se procede a delimitar el registro de variables para efectos de ésta investigación.

5.4.1 Variables de Medición

Las variables de medición encontradas en este trabajo experimental se dividen en dos grupos que son variables independientes y variables dependientes, entre las variables dependientes se tiene el torque, potencia, consumo de combustible y gases contaminantes todas estas variables se han medido con y sin el sistema *GEET*, y como únicas variables independientes se tiene el tamaño del reactor y el porcentaje de combustible (agua - gasolina), estos dos últimos se han seleccionado aleatoriamente, mediante pruebas aleatorias. Se tomara como punto de referencia las RPM para analizar las pruebas comparativas de las variables dependientes e independientes en el motor sin el sistema *GEET* (motor normal) apartado 5.4.1.1 y con el sistema *GEET* apartado 5.4.1.2

Otro punto que se debe mencionar es que cuando trabaje el carburador y el sistema de alimentación *GEET* juntos se llamara Sistema Híbrido.

5.4.1.1 MCI Sin el Sistema *GEET*

En primer lugar se hará funcionar el *motor* como viene de fábrica tomando los datos en estudio (torque, potencia, consumo y gases contaminantes).

5.4.1.2 MCI Con el Sistema *GEET*

Para tomar los datos (torque, potencia, consumo y gases contaminantes).

El sistema *GEET* deberá funcionar con las Variables independientes (tamaño de reactor y proporción de combustible) que mejor se comportan con el MCI, elegidos experimentalmente en los apartado 5.4.2 y 5.4.3

5.4.2 Pruebas aleatorias para encontrar el tamaño del Reactor *GEET* más eficiente.

Las pruebas aleatorias consisten en realizar experimentos al azar. Este método se usa para evidenciar los problemas o dificultades en el encendido, registro de datos rápidos con el cual se seleccionara el prototipo de reactor *GEET* más eficiente. Para el desarrollo de estas pruebas se construyeron tres tipos de reactores. Anexos A, B y C, además como se indica en el cuadro 9 y como se mencionó anteriormente estas pruebas se basan en dar respuesta a la hipótesis: “Aumentando la longitud del reactor aumenta el área de transferencia de calor y por tanto aumenta la eficiencia del motor”.

Se ha variado la longitud de los tres reactores, por lo que aumentara el área de transferencia de calor. Luego de realizar las pruebas aleatorias los resultados obtenidos son los que se indican en el cuadro 10.

Tabla 10-5. Pruebas aleatorias para seleccionar el tamaño de reactor *GEET*.

Sistema Geet	Longitud d (mm)	Diámetro de la varilla (mm)	Volumen de gasolina (%)	Volumen de Agua (%)	Dificultades en:				
					Tiempo de Construcción	Encendido	Tiempo de Funcionamiento	Vibraciones	Sensibilidad De válvulas
Reactor A	360	15.88	50	50		X	X	X	X
Reactor B	460	15.88	50	50		X			
Reactor C	560	15.88	50	50		X	X	X	

Fuente: propia

Luego de haber culminado el proceso experimental se concluyó que la hipótesis es falsa “*el aumento de longitud del reactor, si disminuye el rendimiento operativo del motor*”.

Según el cuadro 10 se puede ver que el reactor B es el que mejor se comporta en nuestro motor con esto se procede a realizar las pruebas aleatorias para encontrar cual es el porcentaje óptimo de volumen de gasolina-agua para el reactor elegido.

5.4.3 Pruebas aleatorias para encontrar la relación agua-gasolina para el sistema *GEET*

Otra de las interrogantes a resolver es en qué relación gasolina-agua es la adecuada para obtener el mejor rendimiento de nuestro sistema *GEET* en el MCI. Para esto utilizaremos el método de pruebas aleatorias. En la cuadro 11-5 se indican los ensayos realizados y los resultados obtenidos de cada uno, para seleccionar la correcta relación gasolina-agua que mejor se comporte en nuestro motor.

Tabla 11-5. Pruebas experimentales para seleccionar cantidad gasolina-agua

experimento Nº	Relacion agua /gasolina	Vol. Gasolina (ml)	Vol. Agua (ml)	Tiempo Geet mixto hibrido (mins eg.)	RPM hibrido	Tiempo Geet (min.seg)	RPM Geet	Tiempo de funcionamiento (min. Seg.)
1	1 a 4	300	1100	4min- 11 seg	1000	1min-12seg	650	5.22
2	2 a 3	600	900	1min- 30 seg	1900	7.30-5.23	800-900	14.23
3	2 a 2	600	600	1min- 35 seg	2100	9.20-2.00	800-1000	12.55
4	3 a 2	900	600	1min-32seg	2400	6.11-4.00	1000-1200	11.43
5	4 a 1	1100	300	1min-40seg	2550	6.44 - 4.05	1000-1200	12.29

Fuente: propia

En el cuadro 11-5, experimento número 5 se ha observado que la relación 4:1 de gasolina-agua es la mejor, porque las RPM para el sistema híbrido son de 2550 RPM y para el sistema *GEET* son de 1200 RPM.

De acuerdo con esta tabla podemos evidenciar que la reacción que mejor se comporta en nuestro motor es de 4:1 (80% de gasolina, 20% de agua), es decir: cuatro partes de gasolina más una parte de agua, esta relación de combustible (gasolina-agua) será ocupada en las siguientes pruebas.

Cabe mencionar que la relación 4 a 1 es la óptima, si se aumentara la relación 5 a 1 tendríamos el mismo rendimiento, ya que como se puede ver en los últimos tres experimentos existe un aumento mínimo de RPM.

5.4.4 *Temperatura superficial del sistema GEET*

Tabla 12-5. Temperaturas Superficiales del fluido en varios puntos del sistema *GEET*

N° DE TEMPERATURA	DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA (°C) A 1200 RPM	TEMPERATURA (°C) A 1000 RPM	TEMPERATURA del sistema <i>GEET</i> para motores de baja potencia(°C)
T1	Temperatura de entrada del combustible <i>GEET</i> al reactor.	70	50	25
T2	Temperatura de salida de los gases de escape del reactor.	146	115	190
T3	Temperatura del múltiple de escape.	270	250	
T4	Temperatura del múltiple de admisión.	60	55	
T5	Temperatura del reactor	170	160	
T6	Temperatura de entrada de los gases de escape al reactor.	225	170	250
T7	Temperatura de salida del combustible <i>GEET</i> al múltiple de admisión.	65	60	45
TR	Temperatura en el Burbujeador.	55	50	

Fuente: propia

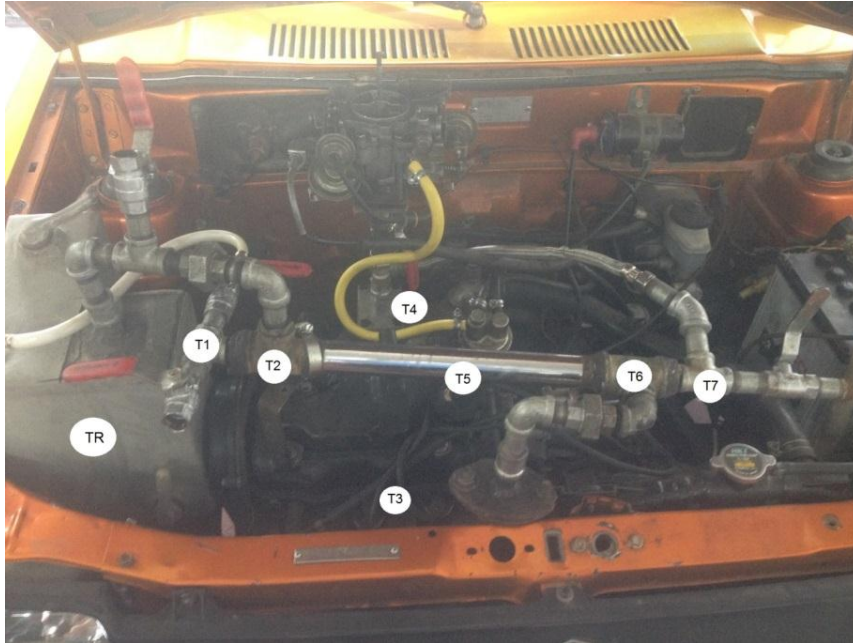


Figura 31-5. Temperatura superficial del sistema

Fuente: propia

5.5 Pruebas y análisis de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes del sistema de alimentación de combustible GEET en el motor de 900cc.

5.5.1 Prueba y Análisis de torque, potencia con y sin sistema GEET

5.5.1.1 Pruebas de torque y potencia con y sin sistema GEET

Para la ejecución de las pruebas de torque y potencia fue necesaria la utilización de un dinamómetro de rodillo con el fin de obtener las curvas de potencia y torque, el banco dinamométrico se encuentra localizado en la ciudad de Riobamba en el taller Auto Extreme Racing.

Las pruebas de potencia y torque que se han realizado son para el sistema original y un sistema híbrido que es la combinación entre el sistema de fábrica (original) y el sistema *GEET*, para el sistema *GEET* no se han realizado estas pruebas ya que el sistema no logra vencer la inercia de los rodillos porque su potencia es muy débil, es por esto que se han realizado estas pruebas para los dos sistemas mencionados anteriormente.

Dinamómetro de rodillos. Nos permite rodar cualquier vehículo dentro del taller automotriz a velocidades deseadas con mayor o menor pendiente de frenado pudiendo registrar los resultados en forma gráfica.



Figura 32-5. Dinamómetro de rodillos y su hardware.

Fuente: propia

Procedimiento. Para la realización del ensayo de torque y potencia se inició colocando las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro.



Figura 33-5. Ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos del dinamómetro

Fuente: propia

Se fijan los sistemas de seguridad que garantizaran que el vehículo permanezca inmóvil durante las pruebas respectivas.



Figura 34-5. Sistema de seguridad

Fuente: propia

Una vez acoplado los instrumentos de seguridad en el chasis del vehículo se arrancó el mismo y se dio inicio a la prueba la cual se desarrolla en una marcha determinada por lo general de 3ra, o 4ta marcha se parte desde un numero bajo de RPM y se acelera a fondo hasta alcanzar el límite máximo de RPM que para el sistema original son 6800 RPM y 2600 RPM para el limite del sistema hibrido, se libera el acelerador y el motor retorna paulatinamente al régimen de inicio. El rodillo, de alta inercia y volumen, recibe la potencia de las ruedas motrices, y un sistema de captura de datos y un software especializado muestran en la pantalla de una computadora los resultados obtenidos en forma de gráficos y tablas.

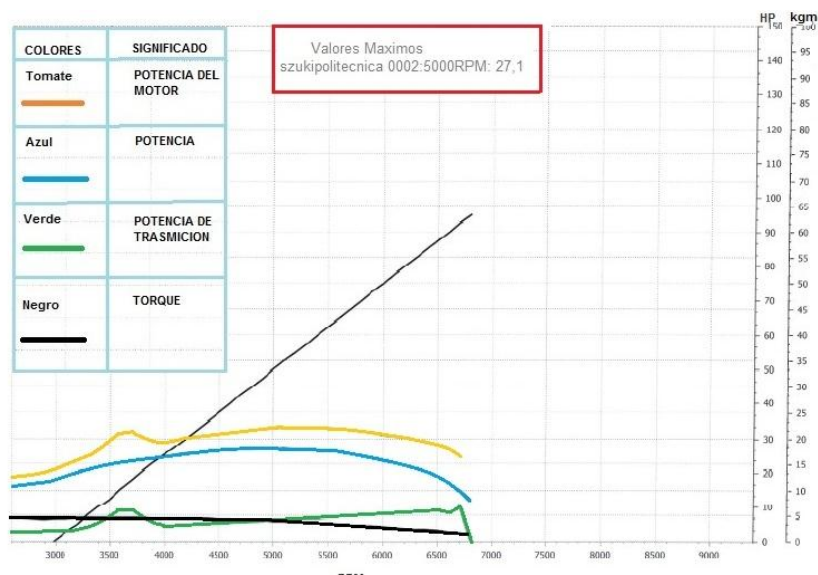


Figura 35-5. Gráfico de potencia y torque sistema original

Fuente: (Racing, 2016)

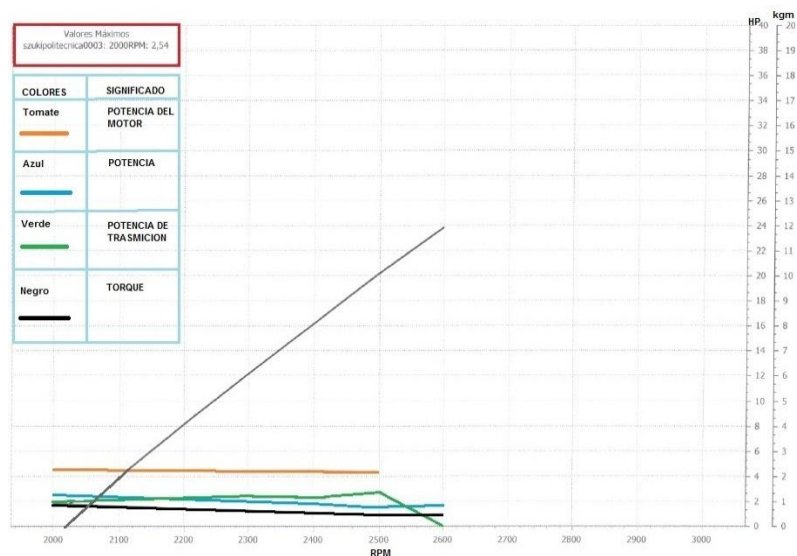


Figura 36-5. Gráfico de potencia y torque sistema hibrido

Fuente: (Racing, 2016)

El siguiente cuadro 13-5. Se indican los valores de potencia tanto hibrido como sistema original relacionados mediante las RPM, luego de realizar las pruebas en el banco dinamométrico.

Tabla 13-5. Valores de torque y potencia obtenidos

RPM	Potencia Original [HP]	Torque Original (Kgm)	Potencia <i>GEET</i> Hibrido [HP]	Torque <i>GEET</i> Hibrido (kgm)
2000	12.4	4.38	2.5	0.90
2100	13.1	4.48	2.4	0.80
2200	13.7	4.49	2.2	0.73
2300	14.6	4.52	1.9	0.60
2400	15.3	4.52	1.8	0.53
2500	15.6	4.46	1.5	0.44
2600	16.2	4.50	1.7	0.46

Fuente: propia

En el cuadro 13, se puede observar las RPM del motor sin el sistema y con sistema *GEET* hibrido, el rango de RPM que se muestra, se midió desde las 2000 RPM hasta 2600 RPM que era el rango en el cual funcionaba el sistema hibrido, los valores de torque, potencia de los 2 sistemas se muestran en el anexo J y sus respectivas graficas en el anexo K.

5.5.1.2 Análisis de potencia y torque con y sin sistema *GEET*

Para el análisis de los datos se recurre al cuadro 13, mediante los cuales se ha logrado realizar la figura 37-5, elaborada con la herramienta Excel para una mejor comprensión de los datos tomados.

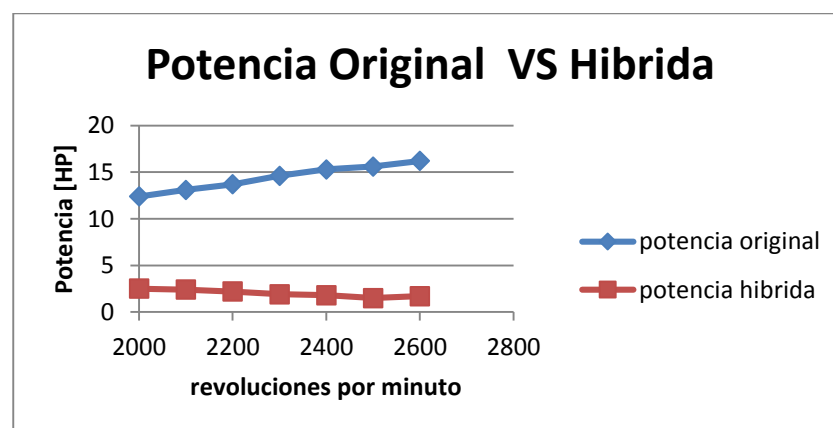


Figura 37-5. Potencia original vs hibrida

Fuente: propia

En el grafico anterior se puede observar que la potencia en el sistema original a 2600 RPM es de 16.2 HP y la potencia en el sistema hibrido es de 1.7 HP entonces tenemos una pérdida de potencia

del 90% en relación al sistema original, tenemos que a 2000 RPM se tiene una potencia máxima de 2.5 HP para el sistema híbrido, y en el sistema original a las mismas revoluciones se obtiene 12.4 HP generando una pérdida del 80% en relación al sistema original.

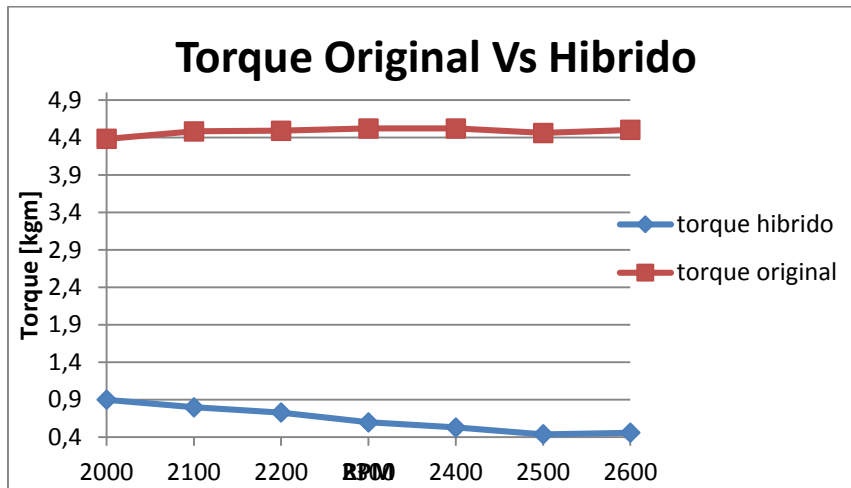


Figura 38-5. Torque original vs híbrido

Fuente: propia

En el gráfico anterior se puede observar que el torque en el sistema original a 2600 RPM es de 4.50 Kgm y el torque en el sistema híbrido es de 0.46 Kgm entonces tenemos una pérdida de torque de 90% en relación al sistema original, tenemos que a 2000 RPM se tiene un torque máximo de 0.90 para el sistema híbrido, y en el sistema original a las mismas revoluciones se obtiene 4.38 Kgm generando una pérdida del 80% en relación al sistema original, además se observa que el torque original sube mientras suben las revoluciones y el torque híbrido decrece mientras se aumenta las revoluciones, el torque máximo para el sistema original es de 4.55 Kgm a 3300 RPM valores que se evidencian en los anexos L y M.

5.5.2 Prueba Y Análisis de emisiones de gases contaminantes con y sin sistema GEET

5.5.2.1 Pruebas de emisiones contaminantes con y sin sistema GEET

Para la realización de estas pruebas se ocupó el analizador de gases perteneciente a la ESPOCH. Antes de proceder a realizar las pruebas de emisiones de gases contaminantes se necesitará conocer el manejo y uso del equipo analizador de gases automotriz MGT 5, se deberá tener en cuenta que este equipo posee elementos sensibles para lo cual se necesitara tener concentración y cuidado en su manipulación.



Figura 39-5. Analizador de gases MGT5

Fuente: propia

Recomendaciones a seguir:

- Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna fuga de gases de escape.
- Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.
- Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

Procedimiento. Para la toma de datos se variara las revoluciones del motor de 900 a 2000 RPM para el sistema hibrido y original y para el sistema *GEET* de 900 a 1200 RPM ya que a 1200 RPM tiene su máximo funcionamiento.

Con el motor a temperatura normal de operación introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo con la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba, luego se esperara el tiempo de respuesta del equipo.



Figura 40-5. Sonda del analizador de gases MGT5

Fuente: propia

Luego de tomar en cuenta las recomendaciones dadas se realizaron las siguientes pruebas, 2 pruebas con el sistema original, 2 pruebas con el sistema hibrido y 3 pruebas con el sistema *GEET* a diferentes revoluciones.

Tanto para el sistema original y el sistema híbrido se han realizado 4 pruebas en total, tomando RPM de 900 a 2000 y para el sistema *GEET* de 1200 RPM, además se ha variado el cierre de la válvula de salida de gases de escape al 90% que nos da 900 RPM y al 100% cerrada dicha válvula obteniendo 700 RPM, ver anexos I, J y K.

Las siguientes tablas muestran los valores obtenidos por el analizador de gases para todas las pruebas realizadas.

Tabla 14-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema original

RPM	% CO	% CO ₂	ppm HC	% O ₂	Lambda
900	0.25	12.4	157	4.93	1.256
2000	4.63	12.7	182	0.87	0.907

Fuente: propia

Tabla 15-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema híbrido

RPM	% CO	% CO ₂	ppm HC	% O ₂	Lambda
900	1.1	15.2	145	0.46	0.984
2000	6.01	3.6	437	10.97	1.444

Fuente: propia

Tabla 16-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema *GEET* % de cierre de válvula de escape

% cierre de válvula de escape	% CO	% CO ₂	ppm HC	% O ₂	Lambda
90%-900 RPM	0.01	0.1	27	20.47	sin registro
100%-700 RPM	no registrado	no registrado	no registrado	no registrado	no registrado

Fuente: propia

Tabla 17-5. Resultados obtenidos de la prueba para el sistema *GEET* a 1200 RPM.

RPM	% CO	% CO ₂	ppm HC	% O ₂	Lambda
1200	0.59	14.3	155	1.6	1.051

Fuente: propia

5.5.2.2 Análisis de emisiones contaminantes con y sin sistema *GEET*

Para el análisis de los datos se recurre a los cuadros 14, 15, 16 y 17 mediante los cuales se ha logrado realizar las siguientes figuras 73, 74 y 75 elaboradas con la herramienta Excel, con el fin de analizar y comparar los datos obtenidos.

A continuación se muestran las gráficas comparativas del sistema híbrido, el sistema original o de fábrica y el sistema *GEET*.

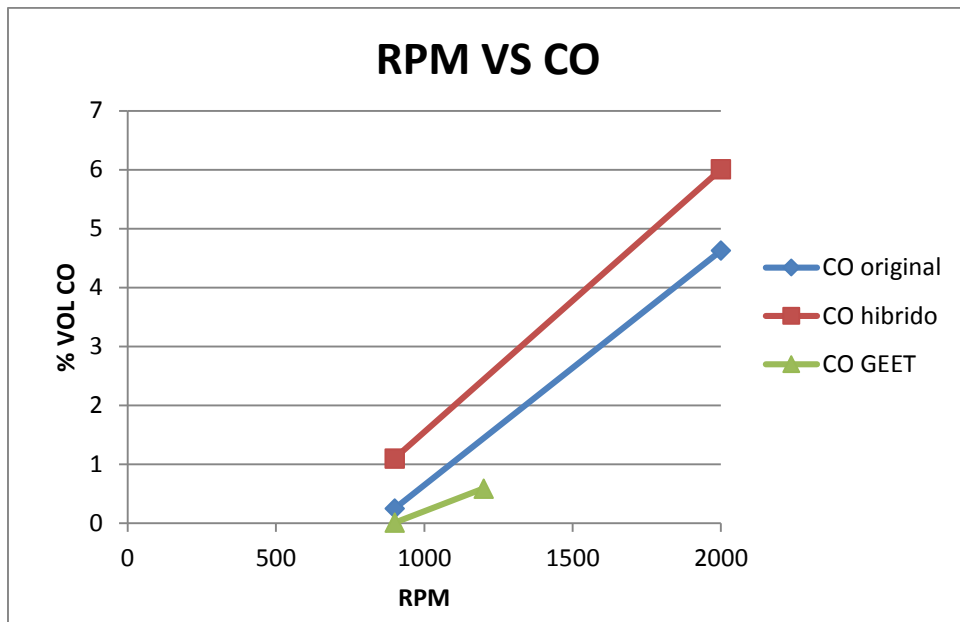


Figura 41-5. RPM vs CO

Fuente: propia

La grafica 41-5, muestra una comparación entre los tres sistemas en cuanto a lo que se refiere a RPM y monóxido de carbono, se puede observar que el sistema híbrido en relación a los otros sistemas mencionados produce más monóxido de carbono y el sistema *GEET* produce una menor cantidad de monóxido de carbono.

Si se compara los tres sistemas a 900 RPM se observa con claridad el sistema que produce más monóxido de carbono en este caso es el sistema híbrido, como conclusión el monóxido de carbono es perjudicial para la salud, el monóxido de carbono resulta de la combustión incompleta esto indica la existencia de una mezcla inicial rica o falta de oxígeno.

Es decir que el sistema *GEET* a 900 RPM el monóxido de carbono es 0.01% y a 1200 RPM es de 0.59 % de volumen de CO esto quiere decir que la combustión en el motor es mejor que en el sistema original. En el sistema híbrido a 900 RPM es de 1,10% y a 2000 RPM es de 6,01% esto quiere decir que es posible que tenga una mezcla rica o que el sistema requiera de mayor oxígeno para reducir este gas contaminante.

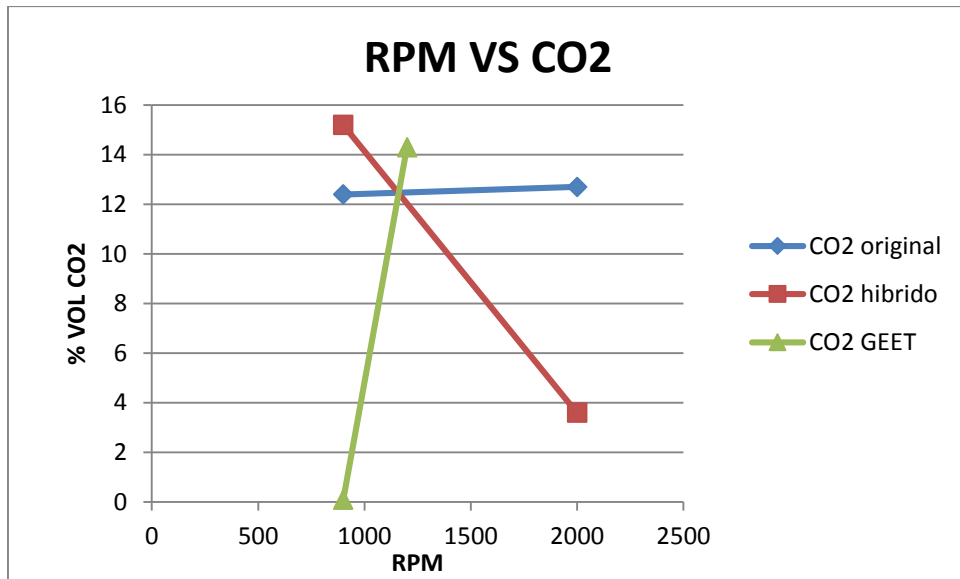


Figura 42-5. RPM vs CO2

Fuente: propia

En la gráfica 42-5, se puede observar que el sistema original se mantiene en un rango de 12 a 13 en % de volumen de CO2 pero en el sistema hibrido decrece, a 900 RPM tiene un valor de 15,20 % CO2 y para 2000 RPM un valor de 3,60 % CO2, mientras que para el sistema *GEET* ocurre lo opuesto a 900 RPM se produce 0,10% de CO2 y a 1200 RPM tiene un valor de 14,30 % de volumen de CO2.

Se sabe que el CO2 no es nocivo para los seres vivos además constituye una fuente de alimentación para las plantas, cuanto mayor es la concentración de este elemento mejor es la combustión, sin embargo a grades concentraciones se produce el efecto invernadero.

Esto quiere decir que la combustión mejora en el sistema *GEET* y para el sistema hibrido la combustión es desfavorable.

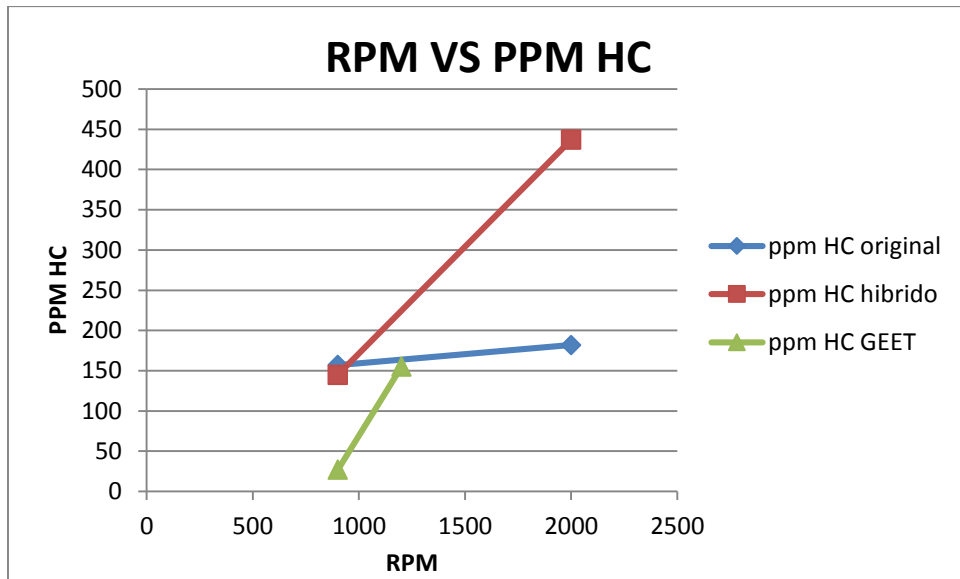


Figura 43-5. RPM vs ppm HC

Fuente: propia

El grafico 43-5, muestra que los HC no combustionados a 900 RPM se mantienen iguales tanto para hibrido como para el sistema original y decrecen para el sistema *GEET* el cual tiene un valor de 27 ppm de HC, cuando un vehículo se encuentra en un estado óptimo las ppm de HC son alrededor de 150 y mientras el vehículo acelera el valor mencionado debería disminuir, en el caso del *GEET* tenemos que a 900 RPM las ppm son 27 y a 1200 RPM las ppm de HC son 150 que es un rango excelente para el sistema pues la contaminación no es un problema para el sistema *GEET*.

En cuanto al sistema original e hibrido a 900 RPM los dos sistema están en un rango de 140 y 160 ppm de HC pero a 2000 RPM el sistema hibrido aumenta considerablemente los HC en 437 en este caso el nivel de Hidrocarburos es muy alto esto puede producir en el cuerpo mareos, irritaciones de la piel, ojos y conductos respiratorios, la aparición de los hidrocarburos se debe a una mala combustión de los mismos, los HC mas otros elementos producen el smog en la ciudades.

Una vez concluido el análisis de emisiones contaminantes en el motor de 900 cc se procedió a realizar el análisis y comparación con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204:2002 Gestión ambiental, aire, vehículos automotores, límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina teniendo el siguiente cuadro 18-5.

Tabla 18-5. Valores comparativos de emisiones contaminantes de los sistemas GEET, Híbrido, Original con la NTE INEN 2 201:2002

NTE INEN 2 204:2002	RPM	% vol CO	% vol CO2	PpmHC
prueba estática	900-1200	6.5	18 max	1200
Sistemas	RPM	% vol CO	% vol CO2	PpmHC
<i>GEET</i> valv. Cerrada 90%	900	0.01	0.1	27
Híbrido	900	1.1	15.2	145
<i>GEET</i>	1200	0.59	14.3	155
Original	900	0.25	12.4	157

Fuente: propia

El cuadro 18-5, muestra una comparación entre la NTE vigente para gases contaminantes y los sistemas *GEET*, Híbrido, Original y *GEET* cerrado la válvula de escape al 90%, esta comparación se hace mediante la tabla de prueba estática proporcionada por la norma, además se debe tomar en cuenta el nivel respecto al mar en el que se encuentra la ciudad de Riobamba que es de 1500-3000 metros y el año de fabricación del vehículo en este caso es un Suzuki Forza 1 de 1989, dadas estas condiciones se ha logrado comparar los valores obtenidos en las pruebas con el analizador de gases.

Como resultado de la comparación entre la norma y los sistemas se tiene que el sistema *GEET* 90% cerrada la válvula de escape, el sistema *GEET*, Híbrido y Original cumplen con la NTE INEN 2 204:2002.

5.5.3 Pruebas y análisis de consumo de combustible con y sin sistema *GEET*

5.5.3.1 Pruebas de consumo de combustible con y sin sistema *GEET*

El consumo de combustible se medirá en cm³ por minuto, además se conoce que la mezcla estequiometrica ideal es de 14,7 gramos de aire por un gramo de gasolina, tomando en cuenta que los motores no son capaces de crear las condiciones de homogeneidad entre aire y gasolina para quemarla completamente, es por esto que la relación 14,7 varía dependiendo de las circunstancias atmosféricas y el estado de los componentes del motor.

Consumo másico de combustible

El consumo másico es la magnitud física que expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área específica. Esta se medirá en unidades de gramos por minuto.

$$Cm = \frac{Vf}{t} \left(\frac{cm^3}{min} \right) \quad (10)$$

$$Cm = \frac{Vf.Pb}{t} \left(\frac{g}{min} \right) \quad (11)$$

Dónde:

Vf = volumen de combustible, en cm³

t = tiempo para consumir Vf, en minutos.

pb = Peso específico del combustible, g/cm³

Peso específico de la gasolina: 0,75 g/cm³

Consumo específico de combustible.

Es la cantidad de combustible que necesita un motor para suministrar una determinada potencia en un determinado tiempo. El consumo específico es una forma de expresar el rendimiento del motor, en el sentido que relaciona consumo con prestaciones. Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su rendimiento.

$$CE = \frac{Cm}{Pf} \text{ kg}/(\text{Hp. min}) \quad (12)$$

Dónde:

Cm= flujo másico del combustible

Pf= Potencia al freno

3.13.2 Procedimiento. Para la prueba de consumo de combustible se necesitó los siguientes equipos y materiales:

- Gasolina comercial tipo extra
- Agua
- Cronometro
- Vaso con escala graduada (cm³)
- Recipientes que remplacen al tanque de combustible
- Multímetro

Desarrollo.

Se Procede a registrar los valores por medio de un cronometro y una probeta graduada en cm³ el consumo de gasolina tomando como referencia las RPM, a continuación:

1.- Consumo de combustible del motor original (como viene de fábrica).

En este punto se toma como referencia la gráfica de consumo de combustible realizada por el fabricante Figura 19-5; Para obtener datos reales del motor se realizó tres pruebas de consumo a diferente RPM del motor. Esto se lo hizo cronometrando el consumo del volumen del vaso graduado. Tabla 19-5.

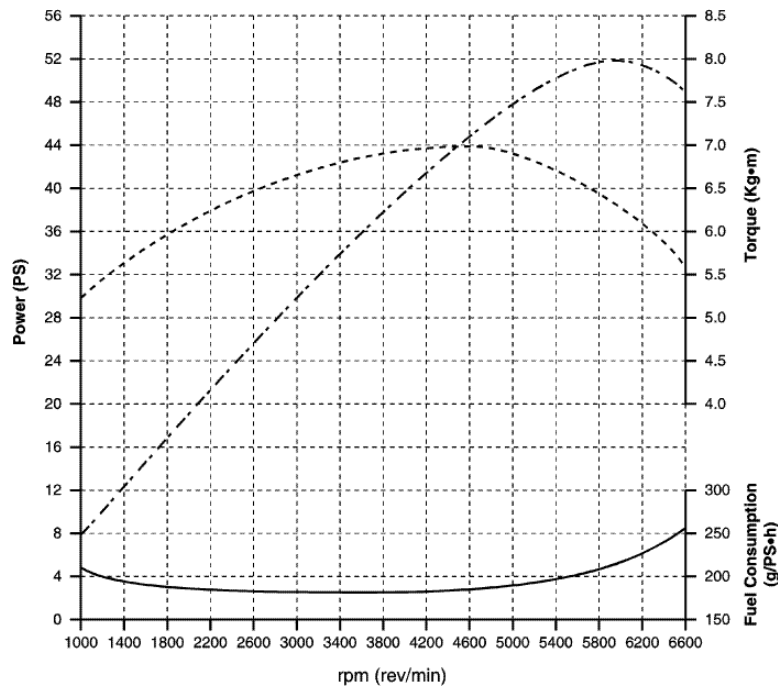


Figura 44-5. Torque vs consumo vs potencia de un motor Suzuki estándar

Fuente: <http://www.suzukituning.com/SuzukiTuning/AltoTuning/Pictures/Daewoo%20Matiz%20F8C%20Power%20Output>.

Tabla 19-5. Consumo de combustible Motor de Fabrica

N° de prueba	RPM	Volumen Inicial (Cm ³)	Volumen final (Cm ³)	Volumen residual (Cm ³)	Tiempo de consumo (Min.)	Consumo másico (g/min)	Potencia (Hp)	Consumo específico (g/hp.min)
1	1200	1100	900	200	10,45	14	10	1,40
2	2000	1100	900	200	8,75	17	12,4	1,37
3	2600	1100	900	200	8,11	18	16,2	1,11

Fuente: propia

2.- Consumo del motor con el sistema de alimentación *GEET*.

Como se mostró en el capítulo sobre mecánica y fundamentos del sistema *GEET* apartado 3.3, el motor tiene una etapa de calentamiento, luego el sistema *GEET* empieza a funcionar según se abran y se cierran sus respectivas válvulas, con esto cortando el paso de alimentación original (carburador) pasa a funcionar el sistema *GEET* totalmente. Como el motor con este sistema de alimentación alcanza un máximo 1200 RPM se ha tomado el consumo en este régimen del motor.

Tabla 20-5. Consumo del motor con el sistema de alimentación *GEET*

N° de prueba	RPM	Volumen inicial Gasolina. (Cm^3)	Volumen inicial Agua. (Cm^3)	Volumen final Gasolina. (Cm^3)	Volumen final Agua. (Cm^3)	Volumen consumo Gasolina. (Cm^3)	Volumen consumo Agua. (Cm^3)	Tiempo de consumo (Min)	Consumo másico Gasolina g/min	Consumo másico. Agua g/min
1	1200	1100	300	900	280	200	20	5	40	4

Fuente: propia

3.- Consumo del motor sistema Híbrido (*GEET* + Carburador)

Tabla 21-5. Consumo del motor sistema Híbrido (*GEET*+ Carburador)

N° de prueba	RPM	Volumen inicial (Cm^3)	Volumen final Carburador (Cm^3)	Volumen final Burbujeador (Cm^3)	Volumen consumo Carburador (Cm^3)	Volumen consumo Burbujeador (Cm^3)	Volumen consumo total. (Cm^3)	Tiempo de consumo (Min)	Consumo másico g/min	Potencia (Hp)	Consumo específico (g/ Hp.min)
1	2000	1100	900	390	200	710	910	21,5	31,74	2,5	12,69
2	2600	1100	1020	760	80	340	420	5	63	1,7	37,05

Fuente: propia

5.5.4 Análisis de consumo de combustible con y sin sistema GEET

Para el análisis y comparación de consumo de combustible se han tomado en cuenta el sistema original, el sistema *GEET* e híbrido. Para una posible comparación se tomara como referencia las RPM.

Según los datos medidos podemos comparar el Sistema Original con el sistema *GEET* a 2000 y 2600 RPM del consumo másico y consumo específico. Cuadro 22-5.

Y se comparó el consumo másico del sistema *original* con el consumo másico del sistema *GEET* a 1200 RPM. Cuadro 23-5.

Tabla 22-5. Sistema de alimentación original vs. Sistema de alimentación híbrido

<i>Tipo de Sistemas</i> <i>RPM</i>	<i>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ORIGINAL</i>		<i>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN HIBRIDO</i>	
	Consumo másico g/min	Consumo específico (g/Hp.min)	Consumo másico g/min	Consumo específico (g/Hp.min)
2000	17	1,37	31,74	12,69
2600	18	1,11	63	37,05

Fuente: propia

Como podemos ver el sistema híbrido frente al sistema original de alimentación del motor es deficiente en su rendimiento, esto se debe a una mezcla rica ya que el carburador y el Sistema *GEET* trabajan al mismo tiempo.

Tabla 23-5. Sistema de alimentación original vs. Sistema de alimentación *GEET*

<i>Tipo de Sistemas</i> <i>RPM</i>	<i>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ORIGINAL</i>		<i>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN GEET</i>	
	Consumo másico Gasolina g/min	Consumo másico Agua Cm ³ /min	Consumo másico. Gasolina. g/min	Consumo másico Agua Cm ³ /min
1200	14	-	40	4

Fuente: propia

Se comprobó que el consumo de agua es mínima de 4cm³/min, tanto en el sistema *GEET* como el sistema híbrido ya que la temperatura del burbujeador alcanza los 40 °c por lo cual no se evapora el agua.

5.5.5 Balance Estequiométrico

Se conoce que en el motor se producen reacciones químicas al momento de la combustión generando energía, que se transforma en trabajo mecánico por medio de los diferentes elementos del mismo, las ecuaciones químicas son el modo para representar dichas reacciones químicas que ocurren en la combustión de las diferentes sustancias que ingresan al motor.

Para efecto de este análisis se ocuparan ecuaciones químicas para el sistema original y el sistema *GEET* ya que los reactivos son diferentes para cada sistema y por lo tanto sus productos también. Para realizar el balance estequiométrico se conoce que las transformaciones que ocurren en una reacción química se rigen por la ley de *Lavoisier* enunciada de la siguiente manera. “En una reacción química ordinaria, la masa permanece constante, es decir, la masa consumida de los reactivos es igual a la masa obtenida de los productos”, si cumple esta ley la ecuación estará balanceada.

Para comenzar se ha definido los compuestos químicos a utilizarse para el balance estequiométrico del sistema original, para este sistema el único combustible es gasolina se tiene:



De la tabla periódica se obtiene las masas atómicas de cada elemento

$$C = 12$$

$$H = 1$$

Se calcula la masa molar de cada elemento perteneciente a los dos compuestos

$$C = 12 \text{ g/mol}$$

$$H = 1 \text{ g/mol}$$

Se calcula la masa molar de la gasolina

$$C_8 H_{18} = \left(\frac{8 \times 12 \text{ g}}{\text{mol}} \right) + \left(\frac{18 \times 1 \text{ g}}{\text{mol}} \right) = \frac{114 \text{ g}}{\text{mol}}$$

Se calcula la masa molar de cada elemento perteneciente al compuesto gasolina

$$C_8 = \left(\frac{8 \times 12g}{mol} \right) = \frac{96g}{mol}$$

$$H_{18} = \left(\frac{18 \times 1g}{mol} \right) = \frac{18g}{mol}$$

Se calcula el porcentaje de masa de los elementos que componen la gasolina

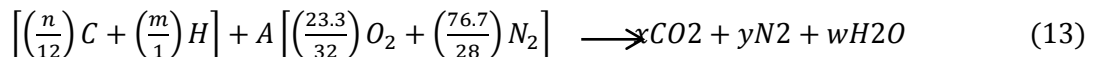
$$\frac{114g}{mol} \rightarrow 100\%$$

$$\frac{96g}{mol} \rightarrow x = 84,2\% C$$

$$\frac{114g}{mol} \rightarrow 100\%$$

$$\frac{18g}{mol} \rightarrow x = 15,7\% H$$

A continuación se realiza el balance para las ecuaciones de combustión del sistema original, se ha partido de las ecuaciones completas de combustión al 100 por ciento y fracciones másicas para la gasolina común se tiene la siguiente ecuación.



Donde:

$n =$ porcentaje de masa de carbono encontrada en la gasolina

$m =$ porcentaje de masa de hidrogeno encontrada en la gasolina

$A =$ Relacion $\frac{\text{aire}}{\text{combustible}}$

$x, y, w =$ Numero de moles de los productos

Para encontrar las incógnitas se realiza una conversión de masa teniendo las siguientes relaciones.

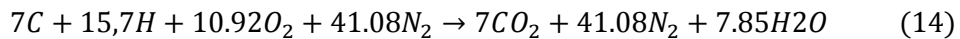
Carbonos) $7 = x$

Hidrógenos) $15,7 = 2w$ despejando $w = 7,85$

Oxígenos) $2A \left(\frac{23,3}{32} \right) = 2x + w$ donde $x = 7$ y $w = 7,85$ despejando $A = 15,00$

Nitrógenos) $2A \left(\frac{76,7}{28} \right) = 2y$ donde $A = 15,00$ despejando $y = 41,08$

Remplazando el valor de las incógnitas en la ec (13) se tiene:



La ec (14). Representa el balance estequiométrico para los reactivos y productos del sistema original.

Para el sistema *GEET* se obtuvo mediante pruebas aleatorias la mejor relación de gasolina-agua y fue de 4:1 esto en porcentaje es igual a 80% de gasolina y 20% de agua.

Primeramente definimos los compuestos químicos a utilizarse para el sistema *GEET*:

C_8H_{18} Gasolina

H_2O Agua

De la tabla periódica sacamos las masas atómicas de cada elemento

$$C = 12$$

$$H = 1$$

$$O = 16$$

Se calcula la masa molar de cada elemento perteneciente a los dos compuestos

$$C = 12 \text{ g/mol}$$

$$H = 1 \text{ g/mol}$$

$$O = 16 \text{ g/mol}$$

Se calcula la masa molar de la gasolina

$$C_8H_{18} = \left(\frac{8 \times 12 \text{ g}}{\text{mol}}\right) + \left(\frac{18 \times 1 \text{ g}}{\text{mol}}\right) = \frac{114 \text{ g}}{\text{mol}}$$

Se calcula la masa molar de cada elemento perteneciente al compuesto gasolina

$$C_8 = \left(\frac{8 \times 12 \text{ g}}{\text{mol}}\right) = \frac{96 \text{ g}}{\text{mol}}$$

$$H_{18} = \left(\frac{18 \times 1 \text{ g}}{\text{mol}}\right) = \frac{18 \text{ g}}{\text{mol}}$$

Se calcula el porcentaje de masa de los elementos que componen la gasolina

$$\frac{114g}{mol} \rightarrow 100\%$$

$$\frac{96g}{mol} \rightarrow x = 84,2 C\%$$

$$\frac{114g}{mol} \rightarrow 100\%$$

$$\frac{18g}{mol} \rightarrow x = 15,7 H\%$$

Se calcula la masa molar del agua de cada elemento

$$H_2 = \frac{2 \times 1g}{mol} = \frac{2g}{mol}$$

$$O = \frac{1 \times 16g}{mol} = \frac{16g}{mol}$$

Se calcula la masa molar del compuesto agua

$$H_2O = \frac{2g}{mol} + \frac{16g}{mol} = \frac{18g}{mol}$$

Se calcula el porcentaje de masa del agua

$$\frac{18g}{mol} \rightarrow 100\%$$

$$\frac{2g}{mol} \rightarrow x = 11,11 H\%$$

$$\frac{18g}{mol} \rightarrow 100\%$$

$$\frac{16g}{mol} \rightarrow x = 88,89 O\%$$

Partiendo de las densidades se obtienen las fracciones másicas

Gasolina al 80%

$$\delta_G = 0,736 \frac{g}{ml}$$

$$\delta_G = \frac{m(g)}{V(ml)}$$

Despejando la masa se obtiene

$$m_G = \left(\frac{0,736g}{ml}\right) \times 0.8 \times 1100ml = 647.68g$$

Agua 20%

$$\delta_{H_2O} = \frac{0.9983g}{ml}$$

$$m_{H_2O} = \left(\frac{0.9983g}{ml}\right) \times 0.2 \times 300ml = 59.898g$$

Masa total (gasolina 80% + Agua 20%)

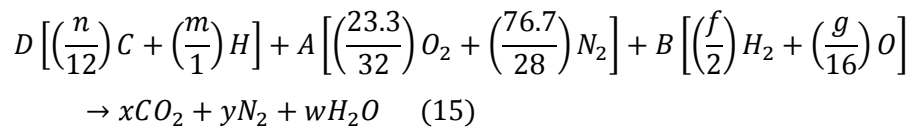
$$n_t = m_G + m_{H_2O} = 707.578g$$

Fracciones másicas

$$n_{C_8H_{18}} = \frac{m_{C_8H_{18}}}{n_t} = 0.9154 \text{ Para el 80\% de gasolina}$$

$$n_{H_2O} = 0.0847 \text{ Para el 20\% de agua}$$

A continuación se realiza el balance para las ecuaciones de combustión del sistema *GEET*, se ha partido de las ecuaciones completas de combustión al 100 por ciento añadidos el elemento químico agua y fracciones másicas para la gasolina común y el agua se tiene la siguiente ecuación.



Dónde:

D = Fraccion masica de la gasolina al 80%

n = porcentaje de carbono encontrado en la gasolina

m = porcentaje de hidrogeno encontrado en la gasolina

A = relacion $\frac{\text{aire}}{\text{combustible}}$

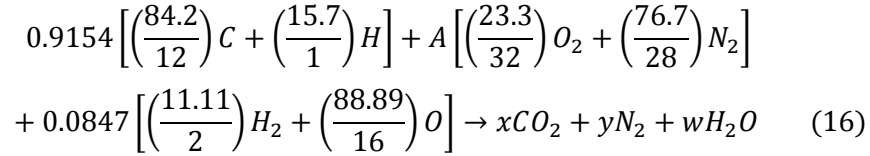
B = Fraccion masica del agua al 20 %

f = porcentaje de hidrogeno encontrado en el agua

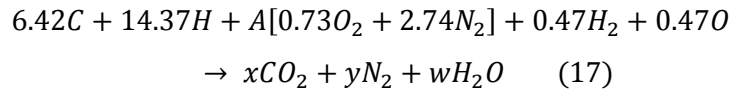
$g = \text{porcentaje de oxígeno encontrado en el agua}$

$x, y, w = \text{numero de moles de los productos}$

Reemplazando las fracciones másicas y los porcentajes en la ec (15) se tiene:



Resolviendo la ecuación (16) se tiene:



Para encontrar las incógnitas se realiza una conversión de masa teniendo las siguientes ecuaciones.

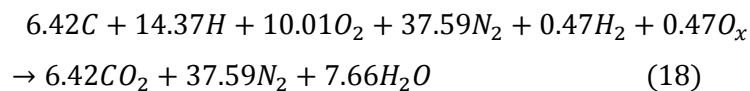
Carbonos) $6.42 = x$

Hidrógenos) $14.37 + 2(0.47) = 2w \text{ despejando } w = 7.66$

Oxígenos) $[(0.73)x(2) + 0.47] = 2x + w \text{ despejando } A = 13.72$

Nitrógenos) $[(2)x(2.74) + xA] = 2y \text{ despejando } y = 37.59$

Reemplazando los valores de las incógnitas en la ec (17) se tiene:



La ec (18). Representa el balance estequiométrico para la mezcla agua 20% y gasolina 80% para el sistema *GEET*.

5.5.6 Resultados preliminares del sistema *GEET*

- El régimen del sistema *GEET* es constante por lo tanto se obtendría mejores resultados en motores estacionarios.
- Se observó que el consumo de agua en el burbujeador es mínimo, casi despreciable; esto se debe a que la temperatura de los gases de escape es de 240 °c en el múltiple de escape y

cuando llegan al burbujiador se tiene una temperatura de 55°C la cual es incapaz de evaporar el agua.

- Se comprobó que la geometría del sistema *GEET* acoplado para motores de baja potencia (5hp) no es la misma para motores de media potencia (40 hp), el sistema *GEET* debería ser más compacto.
- Se observó que se podía recircular todos los gases de escape al motor cuando la válvula de salida de gases de escape se cierra al 100%.
- El sistema *GEET* requiere de la manipulación de las válvulas que conforman el sistema, por lo cual requiere de precisión durante la apertura o cierre de cada una de ellas, lo cual debe ser sincronizadamente, caso contrario provocará el apagado del motor. La manipulación de válvulas es un problema del sistema *GEET* además puede llegar a ser tedioso y cansado para el operario la solución sería automatizar las válvulas.
- Mediante la experimentación con varios reactores, que varían en su longitud y por ende varía la superficie de transferencia de calor en el reactor, permitió deducir que del modelo principal dado por la literatura en la construcción de reactores, el aumento o disminución en la longitud de los reactores ocasionan la disminución de la eficiencia del procesador *GEET*, y por ende disminuye el rendimiento operacional del MCI.

CONCLUSIONES

- RESPUESTA A LA HIPÓTESIS: la hipótesis es falsa porque al aumentar la longitud del reactor, el rendimiento del motor disminuye. Además el rendimiento del motor cae en 80% con respecto al sistema original siendo de 12,4 Hp 2000 RPM y 2,5 Hp 2000 RPM para el sistema híbrido.
- Se desarrolló un sistema de alimentación de combustible *GEET* para un motor ciclo *OTTO*, y se realizó pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes dando como resultado: la máxima potencia en el sistema híbrido es de 2,5 HP 2000 RPM y la potencia máxima sin el sistema original es de 27,1 HP 5000 RPM, el sistema *GEET* no permite adquirir datos de potencia y torque.
- El torque del sistema original es 4.38 kgm a 2000 RPM y para el sistema híbrido es de 0.90 kgm teniendo una reducción de torque de 80% respecto al sistema original
- Se obtuvo con el sistema híbrido (*GEET* + carburador) a 2000 RPM un consumo específico de 12,69 g/hp.min frente al consumo específico normal del motor a las mismas revoluciones de 1,37 g/hp.min.
- Los gases contaminantes emitidos por el sistema *GEET* se encuentran dentro de la tolerancia de la norma NTE INEN 2 204:2002 vigente.

RECOMENDACIONES

- Para que la potencia mejore tanto en el sistema híbrido como en el *GEET* se debería automatizar las válvulas para que no se produzcan pérdidas de combustible, calor y vacío.
- Se debería realizar un mecanismo para poder acelerar y desacelerar el sistema de esta forma lograríamos mejorar la potencia del vehículo solo utilizando el sistema *GEET* y obtener mejores resultados para posteriores investigaciones.
- Para evitar pérdidas de calor los subsistemas del sistema *GEET* deberían estar ubicados cerca del motor y el tubo de escape.
- Realizar una investigación más profunda para rediseñar los elementos tanto del reactor como del burbujeador con el objetivo de obtener mayor potencia aprovechando mejor los gases de la combustión.
- La recomendación principal se basa respecto a la calibración de las válvulas que integran al *GEET* y sistema híbrido, su apertura y cierre provocan la variación de la potencia final del motor, por lo que un estudio sobre su automatización ya sea mecánicamente o electrónicamente mejoraría la aplicación y potenciará su uso.
- Si el sistema *GEET* es construido por medio de válvulas, se recomienda que éstas sean seguras, ya que el motor al estar en constante movimiento y vibraciones, las válvulas de esfera tienden a romperse provocando quemaduras cuando se manipulan.
- Poner un silenciador en la salida de gases de escape ya que al cerrar la válvula de esfera, los gases salen a gran velocidad y producen un silbido del escape que puede ocasionar problemas de audición al operario.
- Tener cuidado con el contacto del tubo externo del reactor, donde se registraron temperaturas por sobre los 150 °C y que pueden ocasionar quemaduras si no se tiene el equipo y precauciones adecuadas.
- La construcción del burbujeador depende de la cantidad de agua – gasolina que se van a introducir en él, por lo que su construcción debe preverse la capacidad y luego no se presenten

inconvenientes en su funcionamiento como el efecto Venturi obtenido en la válvula de escape al poner una mayor capacidad de combustibles dentro del burbujeador.

BIBLIOGRAFÍA

ADLER, T. *Paul Pantone Geet Patent Us5794601* [En línea]. Vizant Cargo Bike. [Consulta: 21 Abril 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/118521905/Paul-Pantone-Geet-Patent-Us5794601#scribd>

ALMEIDA, D. *Ecuador: Política Fiscal Verde* [en línea]. Ecuador: Cepal, 2013. [Consulta: 6 Junio 2016]. Disponible en: http://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/cc_03.2013_dolores.almeida.politica_fiscal_verde.esp_.pdf

ALVAREZ, M. *Energías renovables, opción para salvar nuestro planeta* [En línea]. Reve, 29 Octubre 2014. [Consulta: 29 Julio 2015]. Disponible en: <http://www.evwind.com/2014/10/29/energias-renovables-opcion-para-salvar-a-nuestro-planeta/>

Arias Paz, Manuel. *Manual de Automoviles*. 55ª ed. Madrid-España: Dossat, 2004, pp. 127-129.

BADAJOS, B. *Sistema “Paul Pantone” y energía alternativa para urantia* [Blog]. [Consulta: 3 de Octubre 2015]. Disponible en: <http://paulpantoneyenergiagrattitaparotod.blogspot.com/>

BARRIENTOS PEREZ, Taybo, & SANCHÍS GÚRPIDE, Pablo. *Justification of the pantone system interest* [En línea] (tesis). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pamplona, España. 2009. pp. 1-45. [Consulta: 24 Agosto 2015]. Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4125/577559.pdf?sequence=1>

BIODISOL. *Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias* [En línea] España: Vallejos Marcelo, 25 de Junio de 2008.[Consulta: 18 de Febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.biodisol.com/medio-ambiente/tipos-de-gases-producidos-en-la-combustion-y-sus-consecuencias-energias-renovables-contaminantes-medio-ambiente-efecto-invernadero/>.

BOCAF, P. Paul Pantone [En línea]. [Consulta: 3 Agosto 2015]. Disponible en: <http://panacea-bocaf.org/paulpantone.htm>

BURNS, R. *Fundamentos de Química*. 4ª ed. México, Pearson, 2003, pp. 50-70.

DÍAZ BONIFÁZ, Rodrigo. *Termodinámica Automotriz*. Riobamba – Ecuador: Ecopycenter, 2008, pp. 115-121.

EL COMERCIO. *Un control mas para mejorar la calidad del aire* [En línea] Ecuador: Vallejo Diego, 18 de enero de 2015. [Consulta: 25 de Febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/aire-contaminacion-quito-controles-buses.html>

ENERGÍA LIBRE: *Tecnologías de transición* [Blog]. [Consulta: 15 Diciembre 2015]. Disponible en: <http://energialibrebcn.blogspot.com.es/>

GIACOSA, Dante. *Motores Endotérmicos*. 3ª ed. Madrid-España: Hoepli, 1988, pp. 100-102.

GUALOTUÑA CAJAS, Sandro David, & MOPOSITA TISALEMA, Jaime Javier. *Obtención y aplicación del aceite vegetal (biodiesel) como combustible alternativo en un motor diésel* [En línea] (tesis) Escuela Superior Politécnica del Ejercito. (Latacunga-Ecuador). 2006. pp. 2-9. [Consulta: 2016-09-07]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3978/1/T-ESPEL-0218.pdf>

INEN. gestión ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones. Quito: 2002.

JAAG, A. *El motor de agua* [En línea]. Vive libro, 2013. [Consulta 27 Septiembre 2016]. Disponible en: <https://www.amazon.com/MOTOR-AGUA-Spanish-Ares-Jaag-ebook/dp/B00G0MBQ5U>

JIMENEZ MARTINES, Danny Gabriel; & ARROBA MUNOZ, Leonardo Danilo. *Implementación de un sistema de tratamiento de gases de escape mediante inyección de aire en un vehículo a gasolina* [En línea] (tesis) Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de ingeniería Automotriz. (Riobamba-Ecuador). 2012. pp. 14-46. [Consulta: 2016-08-25]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2283/1/65T00040.pdf>

JIMENEZ, Y. *Tecnología censurada, demostración del funcionamiento de un motor pantone, motores de transición* [En línea]. Barcelona: Luis Palacios. [Consulta: 10 Mayo 2016]. Disponible en: <http://www.biodescodifica-t.com/tecnologia-censurada-demostracion-del-funcionamiento-de-un-motor-pantone-motores-de-transicion/>

JUMA, Diego. *Diseño e instalación de un sistema de alimentación gasolina – hho en el motor de combustión interna del vehículo monoplace tipo buggy del laboratorio de mecánica de patio de la universidad de las fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga* [En línea] (tesis) Escuela Superior Politécnica del Ejército, p 2. [Consulta: 2016-07-04]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10035/1/AC-ESPEL-MAI-0515.pdf>

LÓPEZ BAUTISTA, Ezequiel Abraham, & GONZÁLEZ RAMÍREZ, Byron Humberto. *Diseño y Análisis de experimentos Fundamentos y Aplicaciones en Agronomía* [En línea] (tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala, México. 2014. pp. 2-18. [Consulta: 20 Septiembre 2015]. Disponible en: http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/2/2b/Dise%C3%B1o_y_An%C3%A1lisis_de_Experimentos_2014.pdf

MONTERO, J. *Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones* [En línea] (tesis). (Maestría) Universidad Veracruzana. 2011. pp. 64-71. [Consulta: 2016-09-22]. Disponible en: <https://lopezva.files.wordpress.com/2011/09/tesis-mezclas-de-etanol-y-gasolina.pdf>

MARTÍNEZ, Hermógenes Gil. *Manual Práctico del Automóvil. Madrid-España: Cultural,S.A, 2012, pp.113-116.*

MARTZ, C. *Elaboration d'un banc d'essai et caractérisations du procédé GEET de P. Pantone à reformage.* [En línea] (tesis). Escuela Nacional de Artes e Industrias de Estrasburgo, Estrasburgo, Francia. 2004. pp. 1-117. [Consulta: 14 Octubre 2015]. Disponible en: www.econologie.com

MOTOR GEET pantone híbrido gasolina-agua (tecnología de transición) [En línea]. La caja de pandora. [Consulta: 18 Abril 2016]. Disponible en: <http://www.lacajadepandora.eu/wp-content/uploads/2013/10/Presentacion-Motor-Pantone.pdf>

NÉSTOR. *Motor de agua caliente y fritanga (aceite usado de frituras)* [Blog]. [Consulta: 10 Agosto 2015]. Disponible en: <http://asieslacosache.blogspot.com/>

PANTONE, P. *GEET Plasma Fuel System* [en línea]. The Rex Research. [Consulta: 19 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.rexresearch.com/pantone/pantone.htm>

PANTONE, P. *The book of GEET Basic Science* [En línea]. Utha-USA: 2015. [Consulta: 20 Noviembre 2016]. Disponible en: <http://rebuilding.geetinternational.com/>

QUANT'HOME: *Energy - solutions to produce without detruire the environment* [En línea]. USA. [Consulta: 4 Marzo 2016]. Disponible en: <http://www.geetfriends.net/netdocs/qu ant homme eng alta.pdf>

QUÍMICA ORGÁNICA.org. 2013. Química Orgánica.org. [En línea] 13 de Abril de 2013. [Consulta: 21 de Enero de 2017.]. Disponible en: <http://www.quimicaorganica.org/alcoholes.html>

Revista Facultad de Ingenieros . Historia de los motores de combustion Interna 2001[En línea] Antioquia : Gaviria Rios, Jorge, 3 de junio de 2002. [Consulta: 7 de Marzo de 2015]. Disponible en: <http://jaibana.udea.edu.co/investigacion/grupogas/docs/Historia%20de%20los%20motores%20de%20combustin%20interna.pdf>

TAPIA PERALTA, Darwin Giovanni, Evaluación energética del sistema pantone en motores de combustión interna de potencias entre 0,5 Y 5 kW [En línea] (tesis)(Maestría)

Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador 2012 [Consulta: 2015-03-23]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2623/1/tm4669.pdf>

TESLA, T. *Fuel Processor Construccion Plans* [En línea]. Utha: P. Pantone, 2002. [Consulta: 10 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.teslatech.info/ttstore/articles/geet/geet.htm#step2>

VALLEJO, D. *Un control más para mejorar la calidad del aire* [blog]. Quito: El Comercio, 2015. [Consulta: 16 Agosto 2016]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/aire-contaminacion-quito-controles-buses.html>