



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN EN LA VARIACIÓN DE LOS
PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR
SWIFT 1.6 G16A AL IMPLEMENTAR LOS SISTEMAS TWIN
CAM Y GTI”**

AUTOR: JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA

DIRECTOR: ING. LUIS MENA

LATACUNGA

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“INVESTIGACIÓN EN LA VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR SWIFT 1.6 G16A AL IMPLEMENTAR LOS SISTEMAS TWIN CAM Y GTI”** realizado por el señor **JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 de mayo del 2017

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Luis Mena'. Below the signature, the text 'ING. LUIS MENA.' is printed in a black, sans-serif font.

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA**, con cedula de identidad N° 180421186-8 declaro que este trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN EN LA VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR SWIFT 1.6 G16A AL IMPLEMENTAR LOS SISTEMAS TWIN CAM Y GTI**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 12 de mayo 2017



JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA.

C.C.: 1804211868



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, **JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN EN LA VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR SWIFT 1.6 G16A AL IMPLEMENTAR LOS SISTEMAS TWIN CAM Y GTI”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 12 de mayo del 2017



JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA

C.C.: 1804211868

DEDICATORIA

Para el creador de todo DIOS, por su gran misericordia ante el mundo, quien me da fortaleza y fuerza para mis sueños y propósitos.

A mis Padres por el apoyo incondicional brindado en el transcurso de la vida, quienes me han formado desde niño, siendo mis guías por medio del ejemplo y la enseñanza, hacer una persona de bien, y nunca darse por vencido.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a dios por haberme dado la vida a través de mis padres, por las bendiciones recibidas en el transcurso de mi carrera universitaria, por iluminarme cada mañana.

Agradezco infinitamente a mi madre, quien me ha enseñado a luchar ante mis fracasos, un apoyo incondicional en mi vida, una de las personas que admiro en este mundo.

A mi padre por ser la base fundamental de una familia, y brindarme todos los medios necesarios para cumplir mi formación profesional.

A mi familia y amigos quienes han sido testigos de mis éxitos y fracasos brindándome consejos en todo momento.

A mis maestros quienes fueron mis guías durante mi formación universitaria y de manera especial a mi tutor Ing. Luis Mena por el profesionalismo en la dirección del proyecto de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xix
RESUMEN	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I	1
MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.2. Descripción resumida del proyecto	4
1.3. Justificación e importancia	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5. Metas	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Variables de investigación.....	6
1.7.1 Variable independiente.....	6
1.7.2 Variable dependiente.....	6

1.8.	Operacionalización de variables	7
1.8.1	Variable independiente	7
1.8.2	Variable dependiente	8
1.9.	Métodos y técnicas empleadas	8
1.9.1	Método de análisis de contenido	8
1.9.2	Método deductivo.....	9
1.9.3	Método inductivo	9
1.9.4	Método experimental.....	9
1.9.5	Método de observación directa	9
1.9.6	Método analítico.....	9
1.9.7	Método sintético.....	9
1.9.8	Método matemático	10
CAPÍTULO II.....		14
FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO		14
2.1.	Antecedentes de la investigación	14
2.2.	Motor de combustión interna	15
2.2.1	Principio de funcionamiento.....	15
2.2.2	Principio termodinámico.	15
2.3.	Parámetros termodinámicos del motor de combustión interna	15
2.3.1	Ciclo de funcionamiento de 4 tiempos motor a gasolina.....	19
2.3.2	Parámetros característicos del motor de combustión interna (MCI).....	22
2.3.2.1	Dimensiones del cilindro	22
2.3.2.2	Cilindrada unitaria y relación de compresión	23
2.3.2.3	Potencia del motor.....	24
A.	Potencia indicada.....	24
B.	Par motor - Potencia efectiva.....	25

2.4.	Emisiones contaminantes	27
2.4.1	Monóxido de carbono	27
A.	Formación	27
B.	Efectos	28
2.4.2	Hidrocarburos	28
A.	Formación	28
B.	Efectos	29
2.4.3	Emisiones de efecto invernadero	29
A.	Formación	29
B.	Efectos	29
2.5.	Sistema de alimentación de combustible	30
2.5.1	Generalidades	30
2.5.2	Componentes	31
2.5.2.1	Tanque de combustible	31
2.5.2.2	Conductos o cañerías	31
2.5.2.3	Bomba de combustible	31
2.5.2.4	Filtro de combustible	32
2.5.2.5	Carburador	32
2.6.	Características técnicas cabezote TWIN CAM	33
2.6.1	Reseña histórica	33
2.6.2	Generalidades	34
2.6.3	Sistema de distribución	34
2.6.3.1	Levas y árbol de levas	36
2.6.3.2	Juego valvular	37
2.6.3.3	Calado de la barra de levas	37
2.6.3.4	Transmisión por cadena	38
2.6.3.5	Transmisión por banda	39

2.6.3.6 Taques hidráulicos.....	39
2.6.4 Ventajas	40
2.7. Sistema de inyección electrónica GTI.....	41
2.7.1 Historia	41
2.7.2 Generalidades.....	43
2.7.3 Ventajas del sistema de inyección electrónica GTI	44
2.7.3.1 Inyección multipunto.....	44
2.7.3.2 Inyección monopunto	45
2.7.4 Componentes.....	45
2.7.4.1 Unidad de control.....	46
2.7.4.2 Sensores	47
A. Sensor de posición del árbol de levas (CAS).....	47
B. Medidor de flujo de aire (AFM)	48
C. Sensor de posición del acelerador (TPS).....	49
D. Sensor de temperatura del agua (WTS).....	49
E. Sensor de oxígeno	50
2.7.4.3 Actuadores	50
A. Bomba de combustible	50
B. Prefiltro.....	51
C. Inyectores.....	52
D. Regulador de presión de combustible	52
E. Válvula solenoide ISC	53
2.7.4.4 Diagrama deconexión.....	54
CAPÍTULO III	55
METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PRUEBAS Y USO DE	
EQUIPOS	55

3.1.	Metodología para la obtención de parámetros característicos	55
3.1.1	Banco de pruebas para recolección de curvas de rendimiento	55
3.1.1.1	Componentes del dinamómetro de rodillos.	56
3.1.1.2	Características principales del dinamómetro de rodillos LPS 3000.....	57
3.1.1.3	Control del dinamómetro.....	58
3.1.2	Analizador de gases de escape	60
3.1.2.1	Elementos de analizador de gases	60
3.1.2.2	Características del equipo analizador de gases	61
3.2.	Protocolo de pruebas para torque y potencia	63
3.2.1	Requisitos para la prueba.....	63
3.2.2	Consideraciones de la prueba.....	64
3.2.3	Uso de equipos	65
3.3.	Protocolo de pruebas para consumo de combustible.	65
3.3.1	Requisitos para la prueba.....	66
3.3.2	Consideraciones de la prueba.....	67
3.3.3	Uso de equipos	67
3.4.	Protocolo de pruebas de acuerdo con la norma de marcha mínima o ralenti INEN 2203:2000.	68
3.4.1	Requisitos para la prueba.....	68
3.4.2	Consideraciones de la prueba.....	69
3.4.3	Uso de equipos	69
3.5.	Prueba de ruta para verificación dinámica con la implantación del sistema. .	70
3.5.1	Requisitos para la prueba.....	70
3.5.2	Consideraciones de la prueba.....	70
3.5.3	Uso de equipos	70

CAPÍTULO IV.....	71
OBTENCIÓN DEL TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
4.1. Obtención de la información e implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI	71
4.1.1 Implementación del cabezote TWIN CAM e inyección GTI.....	71
4.1.1.1 Características del fabricante del vehículo Chevrolet Swift 1.6.....	72
4.1.1.2 Implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.....	73
A. Desmontaje del cabezote TWIN CAM motor G16A.....	73
B. Montaje de cabezote TWIN CAM	74
C. Montaje del sistema de inyección GTI.....	75
D. Montaje del motor G16A en la carrocería	75
E. Implementación de la ECU (Unidad de control electrónica).....	76
4.2. Curvas características sin la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.	78
4.2.1 Datos y registro de la información	79
4.2.2 Cálculos y tratamiento de la información.....	82
4.3. Curvas características con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.	87
4.3.1 Datos y registro de la información	87
4.3.2 Cálculos y tratamiento de la información.....	90
4.4. Análisis de parámetros característicos	93
4.4.1 Análisis comparativo entre curvas de rendimiento	93
A. Curvas de torque	93
B. Curvas de potencia	94
4.4.2 Análisis comparativo de consumo de combustible	96
4.4.2.1 Cálculo gasto específico de combustible.....	98

4.5.	Concentraciones de gases sin la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.	100
4.5.1	Datos y registro de la información	100
4.5.2	Tratamiento de la información	101
4.6.	Concentraciones de gases con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.....	102
4.6.1	Datos y registro de la información	102
4.6.2	Tratamiento de la información	103
4.7.	Análisis comparativo de emisiones	104
CAPÍTULO V		106
MARCO ADMINISTRATIVO		106
5.1.	Recursos.....	106
5.1.1	Recursos humanos.....	106
5.1.2	Recursos tecnológicos	107
5.1.3	Recursos materiales	108
5.1.4	Presupuesto	109
5.1.5	Plan de negocio	109
5.1.6	Cronograma de actividades.....	109
CONCLUSIONES		110
RECOMENDACIONES		111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		112
ANEXOS		115
CERTIFICACIÓN.....		116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Sistemas TWIN CAM-GTI	7
Tabla 2	Parámetros efectivos.....	8
Tabla 3	Cuadro metodológico de investigación	10
Tabla 4	Características dinamómetro LPS 3000	57
Tabla 5	Características analizador de gases MGT 5	62
Tabla 6	Obtención de la información	71
Tabla 7	Características de fábrica del vehículo Chevrolet Swift 1.6L	72
Tabla 8	Características generales del motor G16A	79
Tabla 9	Registro de valores obtenidos de torque y potencia	79
Tabla 10	Datos (P. a la rueda, P. del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema inglés (HP), lbf.ft).....	80
Tabla 11	Datos (P. a la rueda, P del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema internacional (Kw), N.m).....	81
Tabla 12	Datos del motor Swift	82
Tabla 13	Valores de interpolación.....	83
Tabla 14	Datos (P. a la rueda, P. del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema inglés (HP), lbf.ft).....	88
Tabla 15	Datos (P. a la rueda, P. del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema internacional (Kw), N.m).....	89
Tabla 16	Datos del motor Swift	90
Tabla 17	Variación del torque con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.....	94
Tabla 18	Potencia con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI	96
Tabla 19	Resultados de consumo de combustible sin la implementación de los sistemas.	97
Tabla 20	Resultados de consumo de combustible con la implementación de los sistemas.....	97
Tabla 21	Pruebas estáticas NTE INEN 2204 sin la implementación de los sistemas	100
Tabla 22	Parámetros de emisiones contaminantes de prueba estática (ralentí)	101

Tabla 23 Pruebas estáticas –NTE INEN 2204 con la implementación de los sistemas	102
Tabla 24 Parámetros de emisiones contaminantes de prueba estática (ralentí)	103
Tabla 25 Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres NTE INEN 017	104
Tabla 26 Recursos humanos	106
Tabla 27 Recursos tecnológicos	107
Tabla 28 Costo recurso tecnológico	107
Tabla 29 Costo recurso material	108
Tabla 30 Inversión total.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Parámetros básicos del motor	14
Figura 2	Ciclo motor térmico	16
Figura 3	Comparación entre los ciclos Otto Y Diésel.	22
Figura 4	Motor alargado.....	23
Figura 5	Dinamómetro de rodillos.....	26
Figura 6	Fuentes de contaminación del vehículo	27
Figura 7	Efectos de inhalación	28
Figura 8	Formulación del combustible en las emisiones de CO_2	30
Figura 9	Bomba de combustible mecánica	31
Figura 10	Bomba de combustible eléctrica.....	32
Figura 11	Carburador.....	32
Figura 12	Motor TWIN CAM Swift 1.6.....	34
Figura 13	Esquema cabezote de doble eje de levas	35
Figura 14	Componentes del cabezote	35
Figura 15	Accionamiento de la válvula	36
Figura 16	Accionamiento directo en indirecto de las válvulas	36
Figura 17	Conjunto de la válvula	37
Figura 18	Calado de la barra de levas	38
Figura 19	Mando de distribución por cadena.....	39
Figura 20	Transmisión por banda	39
Figura 21	Despiece de un taqué hidráulico	40
Figura 22	Vehículo Maserati 3500 GTI.....	41
Figura 23	VW Golf GTI I (1976-1984)	41
Figura 24	VW Golf GTI 1.8 (1991-1998).....	42
Figura 25	VW Golf GTI (1998-2004)	42
Figura 26	VW Golf GTI (2008-2013)	43
Figura 27	VW Golf GTI 7 (2013-2017)	43
Figura 28	Inyección multipunto	44
Figura 29	Inyección monopunto.....	45
Figura 30	Sistema LE-Jetronic	46
Figura 31	Diagrama del sistema de control de combustible.	47
Figura 32	Sensor de posición del arbol de levas (CAS)	48

Figura 33 Medidor de flujo de aire (AFM)	48
Figura 34 Sensor de posición del acelerador (TPS).....	49
Figura 35 Sensor de temperatura de agua (WTS).....	50
Figura 36 Curva característica del sensor de oxígeno	50
Figura 37 Componentes de la bomba de combustible	51
Figura 38 Prefiltro.....	51
Figura 39 Corte de un inyector.....	52
Figura 40 Sección regulador de combustible	53
Figura 41 Corte válvula solenoide ISC	54
Figura 42 Diagrama de inyección electrónica de combustible Swift GTI.....	54
Figura 43 Vehículo en dinamómetro LPS 3000 MAHA	55
Figura 44 Elementos de un dinamómetro de rodillos	57
Figura 45 Inicio software MAHA LPS 3000	58
Figura 46 Parámetros del vehículo para prueba, dinamómetro LPS 3000.....	59
Figura 47 Curvas de torque y potencia dinamómetro LPS 3000	59
Figura 48 Analizador de gases MAHA MGT 5	60
Figura 49 Constitución del analizador de gases MGT 5.....	61
Figura 50 Datos generales del analizador de gases MGT 5	61
Figura 51 Medidas de seguridad.....	64
Figura 52 Consideraciones de la prueba	64
Figura 53 Uso de equipo en la Prueba	65
Figura 54 Simulación ciclo NEDC	66
Figura 55 Prueba ciclo NEDU.....	66
Figura 56 Equipos de consumo de combustible	67
Figura 57 Muestra de combustible	68
Figura 58 Equipos para el análisis de gases	70
Figura 59 Vehículo Chevrolet Swift 1.6	72
Figura 60 Desmontaje de cabezote motor G16A	74
Figura 61 Montaje del cabezote TWIN CAM y Sistema GTI	74
Figura 62 Cabezote TWIN CAM y sistema de inyección GTI	75
Figura 63 Montaje del cabezote TWIN CAM y GTI.....	75
Figura 64 Conjunto de arnés ECU Hitachi-F5	76
Figura 65 Instalación del sistema de inyección electrónica	76

Figura 66 Curvas obtenidas mediante la prueba de potencia sin la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.....	78
Figura 67 Curvas obtenidas mediante la prueba de potencia con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.....	87
Figura 68 Comparación de curvas de momento normal	93
Figura 69 Comparación antes y después de la implementación de los sistemas.....	94
Figura 70 Variación de la potencia normal	94
Figura 71 Variación de la potencia a la rueda.....	95
Figura 72 Variación de potencia motor	95
Figura 73 Análisis de potencia	96
Figura 74 Comparación de rendimiento.....	98
Figura 75 Prueba analizador de gases	100
Figura 76 Emisiones contaminantes	101
Figura 77 Hidrocarburos sin la implementación de los sistemas	102
Figura 78 Emisiones contaminantes	103
Figura 79 Hidrocarburos con la implementación de los sistemas	104
Figura 80 Nivel de hidrocarburos norma vigente.....	105
Figura 81 Monóxido de carbono norma vigente	105

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (1) Rendimiento térmico	16
Ecuación (2) Trabajo de un ciclo	16
Ecuación (3) Calor suministrado	17
Ecuación (4) Calor extraído	17
Ecuación (5) Temperatura de compresión	17
Ecuación (6) Temperatura de combustión	17
Ecuación (7) Temperatura de expansión.....	18
Ecuación (8) Rendimiento térmico	18
Ecuación (9) Presión media efectiva.....	18
Ecuación (10) Balance térmico interior	18
Ecuación (11) Coeficiente de gases residuales.....	19
Ecuación (12) Temperatura al final de admisión.....	19
Ecuación (13) Presión al final de admisión.....	20
Ecuación (14) Presión al final de compresión	20
Ecuación (15) Temperatura al final de compresión.....	21
Ecuación (16) Presión máxima del ciclo.....	21
Ecuación (17) Presión máxima del ciclo real.....	21
Ecuación (18) Grado de elevación de la presión	21
Ecuación (19) Presión al final de expansión	21
Ecuación (20) Temperatura al final de expansión	22
Ecuación (21) Cilindrada unitaria.....	23
Ecuación (22) Relación de compresión	24
Ecuación (23) Potencia indicada	24
Ecuación (24) Potencia indicada equivalente.....	24
Ecuación (25) Potencia indicada real.....	25
Ecuación (26) Presión media indicada.....	25
Ecuación (27) Presión media indicada real	25
Ecuación (28) Potencia efectiva equivalente.....	26
Ecuación (29) Potencia efectiva	26
Ecuación (30) Presión media efectiva.....	26
Ecuación (31) Presión media efectiva real.....	26
Ecuación (32) Velocidad angular	83

Ecuación (33) Velocidad máxima del pistón	83
Ecuación (34) Velocidad de sección de la válvula	84
Ecuación (35) Fuerza máxima.....	86
Ecuación (36) Torque	86
Ecuación (37) Potencia normal	86
Ecuación (38) Consumo de combustible teórico.....	99
Ecuación (39) Gasto específico de combustible.....	99
Ecuación (40) Consumo de combustible.....	99

RESUMEN

Para aumentar el rendimiento y aprovechar al máximo el trabajo generado por el motor, existen varios métodos que consisten en modificar algunos de los sistemas de funcionamiento como: Sistema de distribución, sistema de alimentación, sistema de enfriamiento, tomando en cuenta los límites máximos especificados por el fabricante. Esta investigación se realizó mediante el análisis en la variación de los parámetros térmicos y mecánicos del motor Swift G16A, al sustituir el conjunto tradicional Twin Cam con un árbol de levas en el cabezote (OHC) y alimentación por Carburador, por los sistemas Twin Cam (DOHC) e inyección GTI. El presente trabajo muestra la obtención, comparación y cálculos de los distintos parámetros como son: potencia, torque, consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes, determinados a partir de diferentes pruebas, antes y después de la modificación. Estas técnicas ayudan al registro de parámetros característicos mediante las pruebas sustentadas por medio de cálculos, para modificaciones o implementaciones futuras en los motores.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**
- **INYECCIÓN ELECTRÓNICA**
- **MOTOR SWIFT 1.6 G16A**

ABSTRACT

To increase performance and maximize the work generated by the engine, there are several methods that consist of modifying some of the operating systems such as: Distribution system, power system, cooling system, taking into account the maximum limits specified by the manufacturer. This research was carried out by means of the analysis of the variation of the thermal and mechanical parameters of the Swift G16A engine, replacing the traditional TWIN CAM camshaft (OHC) and Carburetor power supply by TWIN CAM systems (DOHC) And GTI injection. The present work shows the obtaining, comparison and calculations of the different parameters such as: power, torque, fuel consumption and emissions of polluting gases, determined from different tests, before and after the modification. These techniques help to record characteristic parameters by means of the tests supported by means of calculations, for modifications or future implementations in the motors.

KEYWORDS:

- **INTERNAL COMBUSTION ENGINES**
- **ELECTRONIC INJECTION**
- **SWIFT 1.6 G16A ENGINE**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes de la investigación

La investigación se basa en la observación de fenómenos, problemas o necesidades que se presentan de forma periódica y brinda una solución efectiva, así también se trata de modificar sistemas existentes con nuevos análisis y experimentaciones que mejoren parámetros, procesos o rendimientos; introduciéndonos hacia la ingeniería automotriz, se proyecta a aplicar conocimientos técnicos sobre análisis de investigaciones de los motores de combustión interna y la innovación de sistemas en su funcionamiento, un tema de gran interés que ha marcado trascendencia para la reducción de contaminantes y mejoras en parámetros térmicos y mecánicos.

(Orovio, 2010), menciona: “Hasta el año 1993 en Europa el carburador fue suficiente para satisfacer las incipientes anticontaminantes, con el apoyo del encendido electrónico. La inyección se equipaba con anterioridad, más para buscar agilidad y rendimiento antes que reducir la polución”.

A partir de 1993, estas normas fueron endurecidas, especialmente para los motores de gasolina, por lo que el catalizador fue una necesidad básica y para evitar el deterioro, la inyección y el encendido electrónico fueron la respuesta (pág. 212).

En la república del Ecuador existe el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), quien regula las normas técnicas ecuatorianas (NTE), para el control de emisiones permitidas por vehículos automotores, entre ellas:

- **NTE INEN 2204:2002**, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.
- **INEN 017:2008**, CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES.

- **NTE INEN 2203:2000, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA.**

(Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, 2015), afirma: “El transporte es una de las actividades con mayor demanda energética, consumiendo más del 50% de la demanda mundial de petróleo (International Energy Agency, 2012)”.

Hasta el 2010, el sector transporte fue el consumidor de energía predominante en el Ecuador, utilizando un 50% de la demanda nacional. En vista de la enorme cantidad de energía invertida en este sector, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), con su equipo de investigadores, desarrolla el proyecto denominado “Línea base para investigación en eficiencia energética en el sector transporte”.

El Plan Nacional del Buen Vivir del Ecuador, en el objetivo número cuatro promueve a: “Garantizar los derechos de la naturaleza y brindar un ambiente sano y sustentable” ello atrae a utilizar adecuadamente los recursos energéticos de forma eficiente mediante nuevos sistemas, para emitir la menor cantidad de contaminación y optimizar los recursos energéticos encaminados a un desarrollo sostenible.

Las líneas de investigación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE están enfocadas en innovaciones, siendo para esta investigación las áreas de automática y control así como los sistemas eléctricos, electrónicos y computacionales, ellos enmarcados en sublíneas como son la Autotrónica y la eficiencia energética coincidiendo en esta última con el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), por lo cual esta investigación tiene como punto focal el desarrollo de nuevos conocimientos en estas áreas.

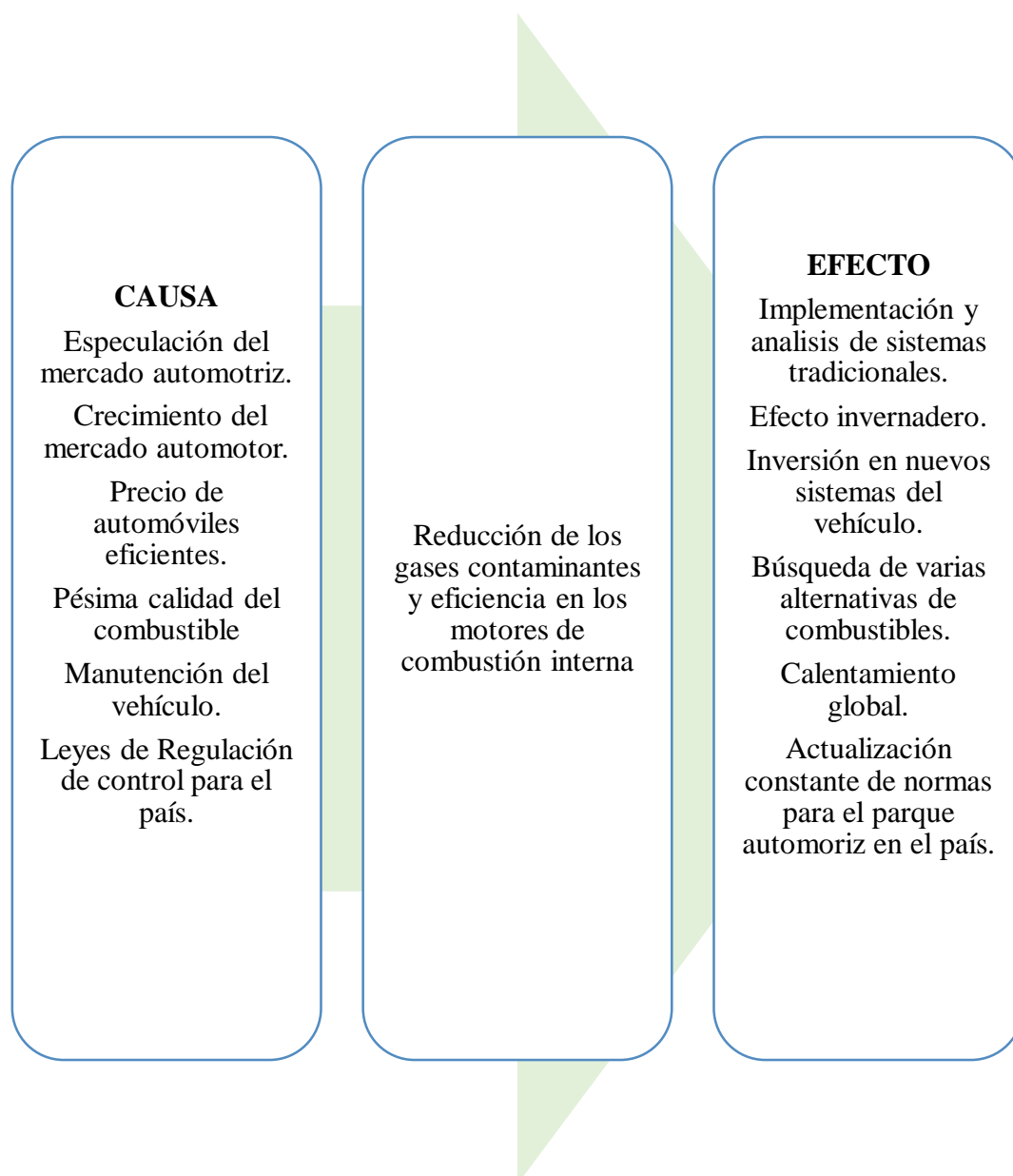
1.1. Planteamiento del problema

Los vehículos con motor de gasolina o gasóleo son la fuente de mayor contaminación al medio ambiente, ya que son generadores principales de gases

responsables del efecto invernadero (CO, CO₂, NO_x) y de emisión de hidrocarburos debido a la evaporación del combustible. Por otro lado cada vez hay más coches y se acumulan masivamente en las ciudades (Orovio, M., 2010). La necesidad de vivir en un ambiente sano y a la vez sustentable promueve a implementar nuevos sistemas en un vehículo para reducir las emisiones contaminantes, además aprovechar eficientemente los recursos energéticos que van a marcar resultados en los parámetros térmicos y mecánicos del motor Swift 1.6 G16A.

Por lo tanto el problema a investigar es:

Reducción de los gases contaminantes y eficiencia en los motores de combustión interna con sistemas tradicionales.



1.2. Descripción resumida del proyecto

La investigación inicia en la indagación de la información, antecedentes, implementaciones y resultados de estudios previos de fuentes confiables. Posteriormente se realiza el mantenimiento, ajustes y calibraciones necesarias, para obtener un protocolo de pruebas que me llevara a conocer los parámetros de funcionamiento (torque, potencia, consumo de combustible y emisiones de gases) estándar en los que se encuentra el vehículo, generando una línea base de datos para el análisis posterior previo a realizar los cambios y adaptaciones de los sistemas TWIN CAM y GTI.

Luego se procede a la adaptación mecánica, electrónica, cálculos matemáticos, estos aspectos en forma básica, para conjuntamente realizar la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI, en el motor Swift 1.6 G16A. Siguiendo el procedimiento se realizaran pruebas de funcionamiento con los sistemas implementados, verificando y si es el caso corrigiendo errores, para mantener un sistema funcional del motor.

La implementación de los sistemas TWIN CAM Y GTI, se realizará en el taller Automotriz “SERVICIO AUTOMOTRIZ ACOSTA”, con el asesoramiento del Ing. Luis Mena y verificación técnica del Sr. Ángel Acosta propietario.

Con el sistema funcional implementado en el motor se procederá a realizar ajustes y mantenimientos necesarios para repetir el protocolo de pruebas y obtener nuevos valores de los parámetros (torque, potencia, consumo de combustible y emisiones de gases), generando una nueva línea de datos.

Para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor G16A del vehículo Chevrolet Swift 1.6, se realizó diferentes pruebas antes y después de la implementación de los sistemas TWIN CAM Y GTI mediante la utilización del dinamómetro de rodillos LPS 3000 y analizador de gases MG5 MAHA del CCICEV, las pruebas y mediciones se llevó de acuerdo a la prueba estática, norma vigente NTE INEN, 2204. INEN 017.

Con las líneas bases y la nuevas líneas de datos generados, se procede a realizar el análisis comparativo de los parámetros térmicos y mecánicos (torque,

potencia, consumo de combustible y emisiones de gases), para presentar un informe, detallando conclusiones y recomendaciones técnicas, a las cuales ha llegado esta investigación.

1.3. Justificación e importancia

El Protocolo de Kioto (PK), ha impulsado a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos a las empresas, a tener el medio ambiente en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones, (United Nations, 2014).

Por otra parte una de las iniciativas del INER para mejorar la eficiencia energética en el sector del transporte, se fundamenta en la creación de una base de datos y su posterior análisis para desarrollar tecnología que permita hacer uso eficiente del recurso energético que requieren todos los tipos de transporte que existen: aéreo, marítimo, ferroviario y transporte de carretera o terrestre (INER, 2015).

Para garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable como lo menciona el objetivo cuatro del plan nacional del buen vivir se necesita innovar sistemas en los vehículos que tiene como fundamento esta investigación, para emitir la menor cantidad de contaminación que afecta al cambio climático y calentamiento global que sufre nuestro planeta, además de ello está encaminado a optimizar los recursos energéticos para a un desarrollo sostenible.

Para la universidad contribuirá en su vinculación con las líneas y sublíneas de investigación, generando resultados que permitan impartir nuevos conocimientos para el desarrollo de la ciencia e innovación en el área de la energía y mecánica.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Investigar la variación de los parámetros térmicos y mecánicos del motor Swift 1.6 G16A al implementar los sistemas TWIN CAM y GTI.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar la información teórica y técnica de fuentes confiables para el desarrollo teórico, metodológico y práctico del proyecto de investigación.
- Realizar la medición de los parámetros mecánicos del motor Swift 1.6 G16A en el sistema tradicional.
- Establecer los requerimientos de adaptabilidad de los sistemas TWIN CAM y GTI en el motor Swift 1.6 G16A.
- Realizar la medición de los parámetros mecánicos y térmicos del motor Swift 1.6 G16A implementado los sistemas TWIN CAM y GTI.
- Realizar los cálculos y comparación de desempeño mecánico y térmico del motor Swift 1.6 G16A con sistemas tradicionales y TWIN CAM / GTI

1.5. Metas

Con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI, se obtendrá la generación de energía del motor de combustión interna con un aumento entre el 5 a 10 % en los parámetros térmicos y mecánicos.

1.6. Hipótesis

La implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI, en el motor Swift 1.6 G16A plantea mejorar los parámetros térmicos y mecánicos.

1.7. Variables de investigación

1.7.1 Variable independiente

Sistemas TWIN CAM – GTI

1.7.2 Variable dependiente

Parámetros efectivos

1.8. Operacionalización de variables

1.8.1 Variable independiente

Tabla 1

Sistemas TWIN CAM-GTI

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas	Instrumento
Motor de combustión interna que usa dos árboles de levas, ubicados en la culata, para operar las válvulas de escape y admisión del motor.	Parámetros mecánicos.	Número de Levas	U	Catálogos	Protocolo
		Alzada			
	Parámetros Electrónicos Sensores	Número de Válvulas	°	Catálogos	Revistas
			U	Manual	Libros
		Número de inyectores	U	Indagación	Sistema de inyección
		MAF TPS EGO ECT CAS	Psi Grados % °C Rpm	Indagación	Libros
	Parámetros económicos	Costo	USD	Comparación	Matemática

1.8.2 Variable dependiente

Tabla 2

Parámetros efectivos

Concepto	Categoría	Indicador	Unidad	Técnicas	Instrumentos
Caracteriza las prestaciones y emisiones de un motor en un determinado punto de operación.	Energía	Torque	Nm	Pruebas Cálculos	Laboratorio de pruebas Ecuaciones
		Potencia	kW	Pruebas Cálculos	Laboratorio de pruebas Ecuaciones
	Eficiencia	Consumo específico	g/kw-h	Cálculos	Ecuaciones
		Gases contaminantes	Ppm	Medición	Analizador de gases
		Rendimiento mecánico	%	Cálculos	Ecuaciones

1.9. Métodos y técnicas empleadas

1.9.1 Método de análisis de contenido

Inicia por la búsqueda de información en lugares de libre acceso de la información como: la biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, bases de datos, además motores de búsqueda como Google y Google Académico, obteniendo diferentes fuentes de bibliografía como: libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales entre otros, los cuales serán seleccionados para examinar su contenido y su fuente de información, comprobando que es una información veraz, para utilizarla en el desarrollo de esta investigación.

1.9.2 Método deductivo

Se conducirá con definiciones matemáticas para la realización de cálculos a partir de parámetros conocidos que serán conseguidos por pruebas de laboratorio, los cuales arrojarán nuevos datos de parámetros efectivos con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

1.9.3 Método inductivo

Se proyecta a generar conclusiones específicas que pueden ser generalizadas hacia otros vehículos, por medio de esta investigación se obtendrán resultados a partir de las pruebas realizadas con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

1.9.4 Método experimental

Este experimento se realizó con el manejo de pruebas controladas que se ejecutarán para el control de los parámetros efectivos, en el cual se implementa el cabezote TWIN CAM y se modifica el sistema de alimentación de combustible (Carburador) al sistema de inyección GTI, esto con la ayuda de instrumentos de medición y técnicas para su desarrollo.

1.9.5 Método de observación directa

Para obtener los datos de esta investigación se utilizará instrumentos como: analizadores de gases, sistemas mecánicos, electrónicos y software en los cuales se necesita excelente apreciación para la recolección de datos.

1.9.6 Método analítico

Para el análisis de los resultados, se parte de la exploración de los datos que se obtendrán en la recolección, para examinarlos en cada variable con la ejecución de programas computarizados, de este modo interpretar las pruebas realizadas y compararlas con las metas planteadas en la investigación.

1.9.7 Método sintético

Con la experimentación de esta investigación se obtendrán datos sobre los parámetros térmicos y mecánicos del motor Swift 1.6 G16A, mediante este método

se recopilará y resumirá los resultados para comprender el efecto que trajo implementar los sistemas TWIN CAM y GTI.

1.9.8 Método matemático

Mediante los datos de las pruebas realizadas en el motor Swift 1.6 G16A se realizará los cálculos y comparación de los parámetros térmicos y mecánicos basados en las ecuaciones consultadas.

Tabla 3

Cuadro metodológico de investigación

Metodología	Descripción	Equipos	Lugar
Análisis de contenido	Inicia por la búsqueda de información en lugares de libre acceso de la información como: la biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, bases de datos, además motores de búsqueda como Google Académico, Science Direct obteniendo diferentes fuentes de bibliografía como: libros, revistas, investigaciones, artículos, normas, manuales entre otros, los cuales serán seleccionados para examinar su contenido y su fuente de información, comprobando que es una	<ul style="list-style-type: none"> • Computador a personal (Microsoft Office) 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L

	información veraz, para utilizarla en el desarrollo de esta investigación.		
Deductivo	Se conducirá con definiciones matemáticas para la realización de cálculos a partir de parámetros conocidos que serán conseguidos por pruebas de laboratorio, los cuales arrojarán nuevos datos de parámetros efectivos con la implementación de los sistemas Twin Cam Y Gti.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de Laboratorio • Dinamómetro • Analizador de gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L • Escuela Politécnica Nacional Laboratorio CCICEV
Inductivo	Se proyecta a generar conclusiones específicas que pueden ser generalizadas hacia otros vehículos, por medio de esta investigación se obtendrán resultados a partir de las pruebas realizadas con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio • Dinamómetro • Analizador de gases 	<ul style="list-style-type: none"> • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L • Escuela Politécnica Nacional Laboratorio CCICEV.
Experimental	Este experimento se realizó con el manejo de pruebas controladas que se ejecutarán para el control de los parámetros efectivos, en el cual se	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Instrumentos de laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Reparación de Motores de la Universidad

CONTINÚA 

implementa el cabezote TWIN CAM y se modifica el sistema de alimentación de combustible (Carburador) al sistema de inyección GTI, esto con la ayuda de instrumentos de medición y técnicas para su desarrollo.

- Herramientas de la Fuerzas Armadas ESPE-L
- Dinamómetro
- Analizador de gases
- Escuela Politécnica Nacional Laboratorio CCICEV

Observación directa

Para obtener los datos de esta investigación se utilizará instrumentos como: analizadores de gases, sistemas mecánicos, electrónicos y software en los cuales se necesita excelente apreciación en el campo en el que se desarrollará el experimento para la recolección de datos.

- Laboratorio de Reparación de Motores de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L
- Instrumentos de laboratorio.
- Dinamómetro
- Analizador de gases
- Laboratorio CCICEV Escuela Politécnica Nacional

Analítico

Para el análisis de los resultados se parte de la exploración de los datos que se obtendrán en la recolección, para examinarlos en cada variable, con ayuda de la ejecución de programas

- Bibliografía
- Computador a personal (Microsoft Office)
- Laboratorio de Reparación de Motores de la Universidad

computarizados, e interpretar así las cualidades de las pruebas realizadas y compararlas con las metas planteadas en la investigación.

- de la Fuerzas Armadas ESPE-L
- Laboratorio CCICEV

Sintético	<p>Con la experimentación de esta investigación se obtendrán datos sobre los parámetros térmicos y mecánicos del motor Swift 1.6 G16A, mediante este método se recopilará y resumirá los resultados para comprender el efecto que trajo cambiar los sistemas TWIN CAM y GTI.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bibliografía • Computador a personal (Microsoft Office) • Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas extensión Latacunga
------------------	--	--

Matematización Mediante los datos de las pruebas realizadas en el motor Swift 1.6 G16A se realizara los cálculos y comparación de los parámetros térmicos y mecánicos para la cual nos basaremos de las ecuaciones consultadas.

- Bibliografía
- Computador a personal (Microsoft Office)
- Biblioteca Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS Y MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Los motores de combustión presentan un gran avance tecnológico hoy en día, mediante la modificación de sus parámetros mecánicos y térmicos se observa una cierta variación en su funcionamiento. La fiabilidad de la vida útil de los diferentes motores lleva a tener en cuenta como aumentar o disminuir las tolerancias establecidas en el funcionamiento del motor. Teniendo ideas claras y precisas sobre el desarrollo de cada uno de los elementos importantes en el motor G16A.

(Giacosa, 1989), menciona: “Un proceso de combustión que se desarrolle del modo descrito por el fabricante, se define como combustión normal. El encendido del motor en el instante deseado se conoce como consecuencia inmediata y única de la chispa” (pág. 333). Para obtener una potencia útil del motor debemos aprovechar al máximo el rendimiento del motor.

(Pawlak, 1984), dice: “Los parámetros básicos de los motores de émbolo tienen una total inmovilidad, en dos posiciones particulares del cigüeñal antes de invertir su movimiento” (pág. 16), dichos parámetros llamados Punto Muerto Inferior (P.M.I) y Punto Muerto Superior (P.M.S), como se aprecia en la figura 1.

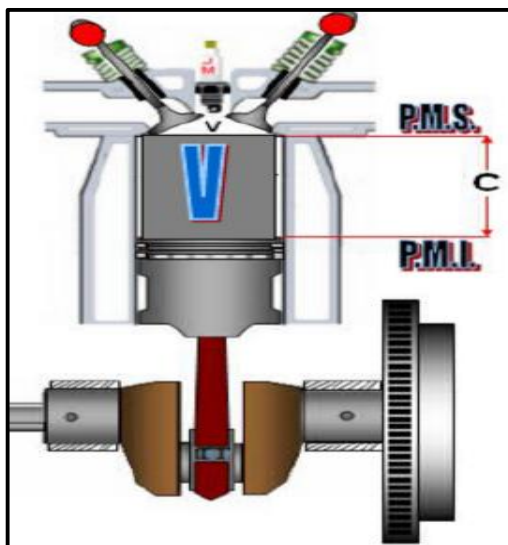


Figura 1 Parámetros básicos del motor
Fuente: (Moscoso, 2016)

2.2. Motor de combustión interna

Un motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía química del combustible en energía mecánica o de movimiento, dependiendo del tipo de combustible que utilice gasolina o diésel. Los motores de gasolina utilizan una mezcla proporcional aire-combustible para su combustión, Un motor diésel combustiona debido al aire fuertemente comprimido y la inyección del combustible.

2.2.1 Principio de funcionamiento.

(Pawlak, W., 1984), menciona: “Cada uno de los tipos de motores tiene su propio diseño de funcionamiento, así los motores de encendido por chispa reciben el nombre de motores Otto, mientras los motores de encendido por compresión motores Diésel” (pág. 9).

2.2.2 Principio termodinámico.

El motor de combustión interna funciona de acuerdo a las tres leyes de la termodinámica.

- Primera ley de la termodinámica: Menciona que el motor de combustión transforma la energía calorífica provocada en la explosión de la mezcla en energía mecánica.
- Segunda ley de la termodinámica: Se puede aprovechar una parte del calor producido en la combustión en esfuerzo mecánico útil. Este fenómeno se lo conoce como eficiencia térmica del motor.
- Ley combinada de Boyle-Charles: Para que se produzca una fuerza necesaria con mayor eficiencia, la combustión debe realizarse a altas temperaturas.

2.3. Parámetros termodinámicos del motor de combustión interna

(Jovaj, 1982), menciona: “En el cilindro del motor se encuentra una cantidad constante de fluido operante (aire-combustible) que efectúa un ciclo cerrado”, (pág. 21). Para procesar dicho transcurso de intercambio de calor se absorbe trabajo.

El calor se obtiene de acuerdo a la reacción química del combustible con el oxígeno del aire. Podemos mencionar que el calor específico del combustible en el interior del cilindro depende de la variación de la temperatura.

Los procesos de compresión y expansión se efectúan sin intercambio de calor con el medio exterior llamado proceso adiabático, en la figura 2 se observa el ciclo de un motor térmico P-V.

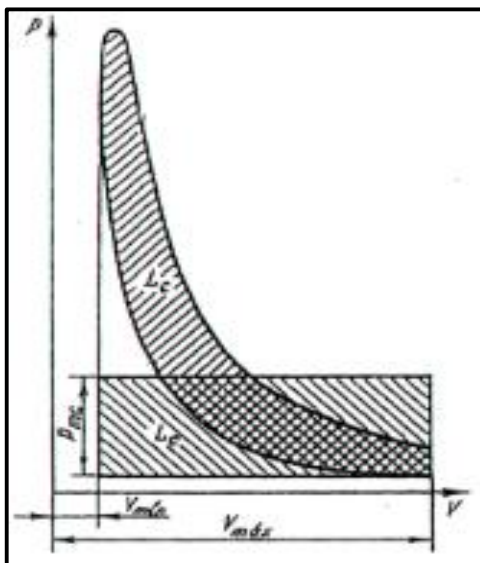


Figura 2 Ciclo motor térmico

Fuente: (Jóvaj, 1984)

Jovaj, M., (1984), menciona: “De acuerdo a la segunda ley de la termodinámica el rendimiento térmico para un ciclo teórico es”.

$$n_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = \frac{l_c}{q_1}$$

Ecuación (1) Rendimiento térmico

Donde:

q_2 : Magnitud absoluta de la cantidad de calor desprendida a la fuente fría durante el ciclo (KJ/Kg)

q_1 : Cantidad de calor suministrado durante el ciclo (KJ/Kg).

l_c : Trabajo realizado por 1 kg de fluido operante durante el ciclo. $l_c = q_1 - q_2$

Para un ciclo cerrado el trabajo efectuado es:

$$L_c = \oint p dV$$

Ecuación (2) Trabajo de un ciclo

Donde:

p: Presión

V: Volumen

Mena, L., (2011), dice: “El calor suministrado durante el ciclo es”

$$q_1 = Cv(Tz - Tc) \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

Ecuación (3) Calor suministrado

Donde:

Cv : Calor específico a volumen constante $(0.718 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K})$

Tz : Temperatura de combustión ($^\circ K$)

Tc : Temperatura de compresión ($^\circ K$)

Mena, L., (2011), expresa: “El calor extraído durante el ciclo es”.

$$q_2 = Cv(Tb - Ta) \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

Ecuación (4) Calor extraído

Donde:

Ta : Temperatura de admisión ($^\circ K$)

Tb : Temperatura de expansión ($^\circ K$)

Mena, L., (2011), dice: “Las ecuaciones de: Temperatura de compresión (Tc), temperatura de combustión (Tz) y temperatura de expansión (Tb) resultan”.

- Temperatura de compresión

$$Tc = Ta \left(\frac{Va}{Vc} \right)^{k-1} = (Ta * \varepsilon^{k-1}) (^\circ K)$$

Ecuación (5) Temperatura de compresión

- Temperatura de combustión.

$$Tz = Tc \left(\frac{Pz}{Pc} \right) = \lambda Tc (^\circ K)$$

Ecuación (6) Temperatura de combustión

- Temperatura de expansión.

$$T_b = T_z * \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = \lambda T_a (\text{°k})$$

Ecuación (7) Temperatura de expansión

Según (Jovaj, M., 1984, pág. 26), el rendimiento térmico a presión constante puede describirse de la siguiente manera.

$$n_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{q_c}{q_1}$$

Ecuación (8) Rendimiento térmico

Donde:

k : Coeficiente adiabático.

(Jovaj, M., 1984, pág. 26), expresa: “La presión media efectiva del ciclo puede describirse de la siguiente manera”.

$$p_{mc} = Pa * \frac{\varepsilon^k(\lambda-1)}{(\varepsilon-1)(k-1)} * n_t \quad (Pa)$$

Ecuación (9) Presión media efectiva

Donde:

Pa : Presión de admisión. (Pa).

λ : Grado de elevación de la presión.

Según (Pawlak, W., 1984, págs. 40-42), existen dos tipos de balances térmicos del motor los cuales determinan los parámetros de funcionamiento del mismo.

- Balance térmico exterior: Se basa en las mediciones de energía mecánica y térmica restituida por el motor el exterior
- Balance térmico interior: Se determina directamente en el cilindro del motor y se basa en el diagrama del indicador hecho muy exactamente.

La ecuación general del balance térmico interior es:

$$Q_1 = Q_e + Q_m + Q_r + Q_{es} \quad \left(\frac{Kj}{s}\right)$$

Ecuación (10) Balance térmico interior

Donde:

Q_1 = Calor total introducido al motor.

Q_e = Calor efectivo transformado en trabajo mecánico.

Q_m = Calor perdido por el movimiento del émbolo.

Q_r = Calor perdido por refrigeración del motor.

Q_{es} = Calor perdido en gases de escape.

2.3.1 Ciclo de funcionamiento de 4 tiempos motor a gasolina.

(Alonso, 1997), menciona: “Para conseguir un mayor rendimiento de los motores, se efectúa la apertura y cierre de válvulas con un cierto adelanto o retraso, respecto a los momentos indicados, además se modifica el instante que salta la chispa y el comienzo de la inyección” (pág. 31).

Los parámetros del motor de cuatro tiempos se detallan a continuación:

- **Parámetros del proceso de admisión**

Dante, G., (1989), dice: “Deslizando el pistón del P.M.S al P.M.I, con la válvula de admisión abierta se da el paso del aire al interior del cilindro a una presión atmosférica, proceso conocido también como aspiración” (pág. 66). Según (Jovaj, M., 1982), “El coeficiente de gases residuales (γ_r) se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:”

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} * \frac{P_r}{\varepsilon * P_a - P_r}$$

Ecuación (11) Coeficiente de gases residuales

Donde:

P_r : Presión de los gases residuales (0.11 a 0.125) *MPa*

La temperatura al final de la admisión T_a :

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_{res} * T_r}{1 + Y_{res}} \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Ecuación (12) Temperatura al final de admisión

Donde:

T_a : Temperatura de la mezcla al final de la admisión $^\circ K$

Tr: Temperatura de los gases quemados °K

To: Temperatura ambiente °K

Nota:

$Y_{res} = 0,06$ a $0,10$ (Coeficiente de gases residuales) motor gasolina

Tr= 500 a 600 °C motor gasolina

Pr=1.1 a 1.25 MPa (Presión de los gases residuales). Datos obtenidos mediante ensayo y pruebas.

Presión al final de admisión (P_a); corresponde a la siguiente ecuación.

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi_{ad}) * \frac{W_{ad}^2}{2} * \rho_o \text{ (MPa)}$$

Ecuación (13) Presión al final de admisión

Donde:

W_{ad} : Velocidad de la sección de la válvula (0.1 a 0.6 m/seg)

Pa: Presión al final de la admisión (Pa) $P_a = (0,8 - 0,9) * P_o$

Po: Presión ambiente (Pa)

ρ_o : Densidad del aire a presión y temperatura ambiente (0.125 a 0.400 kg/m³)

- **Parámetros del proceso de compresión y combustión**

El pistón realiza una carrera del P.M.I al P.M.S, comprimiendo la mezcla aire-combustible, momento en que se produce un aumento de presión debido a las veces que se comprime la mezcla. (Mena, L., 2011, pág. 17), menciona: “La presión al final de compresión Pc se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación”.

$$P_c = P_a \left(\frac{v_a}{v_c} \right)^{n_1} \text{ o } P_c = P_a * \varepsilon^{n_1} \text{ (MPa)}$$

Ecuación (14) Presión al final de compresión

Donde:

n_1 : Constante politrópica ≈ 1.34

Temperatura al final de la compresión (Tc)

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1-1} \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Ecuación (15) Temperatura al final de compresión

Presión máxima del ciclo P_c (Pa):

$$P_z = \beta * P_c * \frac{T_z}{T_c} \text{ (Pa)}$$

Ecuación (16) Presión máxima del ciclo

Donde:

β : Coeficiente real de variación molecular ($\beta = 1,06$ a $1,08$ MG)

Presión máxima real (P_{z1})

$$P_{z1} = 0.85 * P_z \text{ (Pa)}$$

Ecuación (17) Presión máxima del ciclo real

Grado de elevación de la presión

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c}$$

Ecuación (18) Grado de elevación de la presión

- **Parámetros del proceso de expansión y escape**

Antes que el Pistón llegue al P.M.S, salta la chispa de la bujía combustionando la mezcla motivo por el que el pistón realiza una carrera del P.M.S al P.M.I.

Jóvaj, M., (1982), menciona: “Para el proceso politrópico utilizamos valores promedios de n_2 , y la presión al final de la expansión (P_b) se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación” (pág.159).

$$P_b = P_z * \frac{1}{\varepsilon^{n_2}} \text{ (Pa)}$$

Ecuación (19) Presión al final de expansión

Donde:

n_2 : Coeficiente politrópico (1,23 a 1,30 MG).

La temperatura al final de la expansión (T_b), para un motor de encendido por chispa se calcula de acuerdo a la siguiente formula.

$$T_b = T_z * \frac{1}{\epsilon^{n_2-1}} \text{ (}^\circ K\text{)}$$

Ecuación (20) Temperatura al final de expansión

Donde:

T_z = Temperatura de combustión

Antes que el pistón llegue al P.M.I. se abre la válvula de escape barriendo los gases hacia el medio exterior por medio del múltiple de escape, la presión desciende a un valor próximo al atmosférico. Completando de esta manera el ciclo real de funcionamiento. En la figura 3 se aprecia la variación de los diagramas Otto y Diésel.

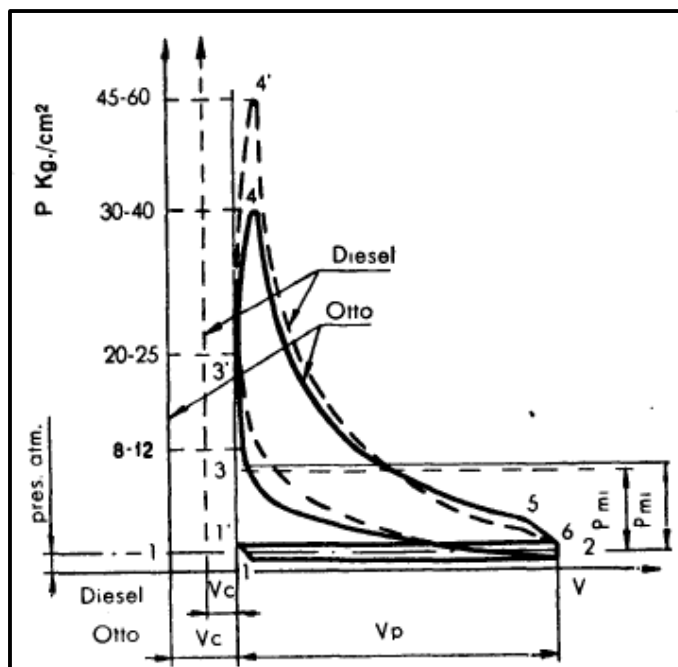


Figura 3 Comparación entre los ciclos Otto Y Diésel.

Fuente: (Dante, 1989)

2.3.2 Parámetros característicos del motor de combustión interna (MCI).

2.3.2.1 Dimensiones del cilindro

Definimos como el diámetro interior del cilindro y la distancia que existe desde el P.M.S al P.M.I. generalmente expresado en milímetros. Al variar la relación carrera diámetro se tiene tres aspectos:

- Relación $C/D > 1$; Motor alargado

- Relación $C/D = 1$; Motor cuadrado
- Relación $C/D < 1$; Motor súper cuadrado

En la figura 4 se aprecia las dimensiones del cilindro, el diámetro y la carrera.

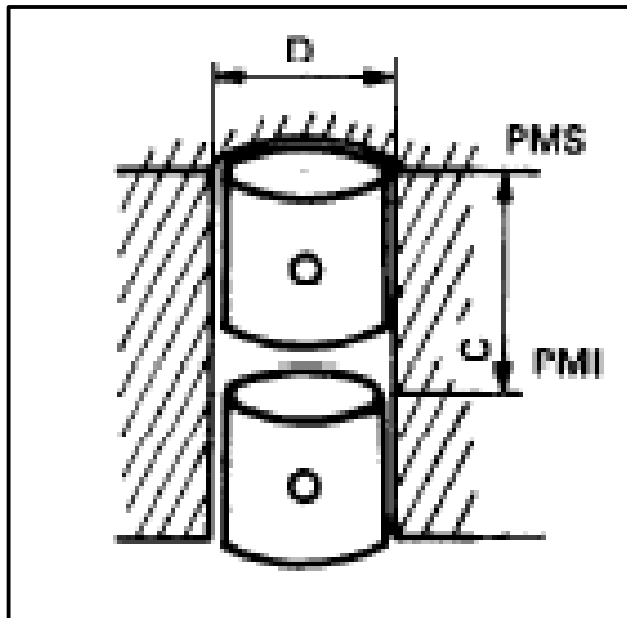


Figura 4 Motor alargado

Fuente: (Alonso, 1997)

2.3.2.2 Cilindrada unitaria y relación de compresión

Según (Alonso, M., 1997, pág. 46), la cilindrada unitaria es el volumen que desaloja el pistón cuando se desplaza desde el P.M.S. al P.M.I., siendo S la carrera del pistón y D el diámetro del cilindro”.

$$Vh = \frac{\pi D^2 * S}{4} (m^3)$$

Ecuación (21) Cilindrada unitaria

Donde:

D : Diámetro del cilindro

S : Carrera del pistón

(Alonso, M., 1997), dice: “Se llama relación de compresión al volumen existente en la cámara de combustión y la cabeza del pistón cuando el éste se encuentra en el P.M.S. Expresado como el volumen ocupado por los gases cuando el pistón alcanza el P.M.S.

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

Ecuación (22) Relación de compresión

Donde:

ε : Relación de compresión

V_c : Volumen de la cámara de combustión

Alonso, M., (1997), menciona: “Los motores de explosión actuales tienen relación de compresión que varía entre 8:1 a 10:1. A partir de este valor, el aumento de la relación de compresión tiene una serie de problemas” (pág. 47). Problemas como “detonación” conocido como combustible sometido a una cierta compresión sin que se inflame, además se somete a una elevada concentración de carbonilla en la cámara de combustión.

2.3.2.3 Potencia del motor

Según (Dante, G., 1989, pág. 120), “La potencia desarrollada en el interior del cilindro no se recoge íntegramente en el eje motor, debido a que una parte es absorbida por las resistencias pasivas”, además podemos distinguir tres clases de potencia: Potencia indicada (N_i), potencia absorbida por las resistencias pasivas (N_p) y potencia efectiva en el eje (N_e).

Dante, G., (1989), dice: “La potencia indicada es igual a la potencia absorbida por las resistencias pasivas más la potencia efectiva en el eje” (pág. 120).

$$N_i = N_p + N_e \text{ (Kw)}$$

Ecuación (23) Potencia indicada

A. Potencia indicada.

Alonso, M., (1997), menciona: “Una de las maneras de determinar la potencia indicada es a través de la presión media indicada del ciclo”, expresada por la relación existente entre el área del ciclo (A) y la cilindrada unitaria (V).

$$N_i = \frac{A}{V} \text{ (Kw)}$$

Ecuación (24) Potencia indicada equivalente

Según (Jóvaj, M., 1984, pág.171), la potencia indicada (N_i) de un cilindro puede expresarse mediante la siguiente ecuación.

$$N_i = \frac{2 * p_i * V_h * n * i}{10^3 * \tau} \text{ (Kw)}$$

Ecuación (25) Potencia indicada real

Donde:

p_i : presión media del indicada (Pa).

n : Frecuencia de rotación del eje cigüeñal (r.p.s)

τ : Numero de tiempos del motor.

i : Numero de cilindros

Jóvaj, M., (1984), dice: “La presión media indicada real P_a (p_{inr}) se calcula de acuerdo” (pág. 169).

$$p_{inr} = P_a * \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{\lambda}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]$$

Ecuación (26) Presión media indicada

Donde:

n_1 : Exponente politrópico de compresión 1,34

n_2 : Exponente politrópico de expansión 1,24

$$p_i = \varphi_i * p_{inr} \text{ (Pa)}$$

Ecuación (27) Presión media indicada real

Según resultados experimentales φ_i varía de 0.92.....0.97.

B. Par motor - Potencia efectiva.

El par motor y la potencia efectiva se mide en un dispositivo de frenado que, sometido al eje motor, se opone al par de giro del cigüeñal.

Estos parámetros pueden ser medidos mediante el dinamómetro de rodillos, como se observa en la figura 5.



Figura 5 Dinamómetro de rodillos

Según (Jóvaj, M., 1982, pág.176), la potencia efectiva se puede calcular con las siguientes ecuaciones.

$$Ne = Ni - Nm \text{ (Kw)}$$

Ecuación (28) Potencia efectiva equivalente

$$Ne = \frac{2pe \cdot Vh \cdot n \cdot i}{1000\tau} \text{ (Kw)}$$

Ecuación (29) Potencia efectiva

Donde:

pe: Presión media efectiva MPa, Vh en Litros y n en rpm.

$$pe = n_m * p_i \text{ (MPa)}$$

Ecuación (30) Presión media efectiva

$$pe = p_i * p_m \text{ (MPa)}$$

Ecuación (31) Presión media efectiva real

Donde:

p_m : Presión media (Pa)

n_m : Rendimiento mecánico.

2.4. Emisiones contaminantes

Las emisiones contaminantes producidas por los automóviles, no solo provienen de los gases emitidos por el tubo de escape. (Montenegro, 2011), menciona: “Los gases de escape representan solo el 60 % de la contaminación emitida por el vehículo, lo restante lo compensa en un 20 % de emisiones evaporativas de depósitos de gasolina y el otro 20 % los residuos de la combustión que escapan de la cámara hacia el interior del motor”. En la figura 6 se observa la fuente de contaminación emitida por un vehículo.



Figura 6 Fuentes de contaminación del vehículo

Fuente: (Montenegro, 2011)

2.4.1 Monóxido de carbono

La formación de CO consiste en un paso intermedio de la oxidación de un hidrocarburo, el monóxido de carbono forma una de las especies contaminantes más importantes en los procesos de combustión, debido a una mezcla rica (generalmente se produce en sistemas de combustión que trabajen con mezclas estequiometrias)

A. Formación

Payri, F. & Desantes, J., (2011), menciona: “La formación de CO se debe a la disociación de las moléculas de CO_2 , a temperaturas superiores a los 2000 °K, temperaturas de los procesos de combustión.” (pág. 427).

La cantidad de CO depende del balance en los procesos de reacciones y oxidación del mismo. Sin embargo en los motores de gasolina la temperatura baja rápidamente lo que genera una congelación de la reacción.

B. Efectos

El CO generado es inodoro e incoloro, además resulta letal en bajas dosis debido a la combinación de la sangre con la hemoglobina más el oxígeno, reduciendo la capacidad de transportar el oxígeno. En la figura 7 se observa las concentraciones típicas expuestas en la calle de monóxido de carbono (CO).

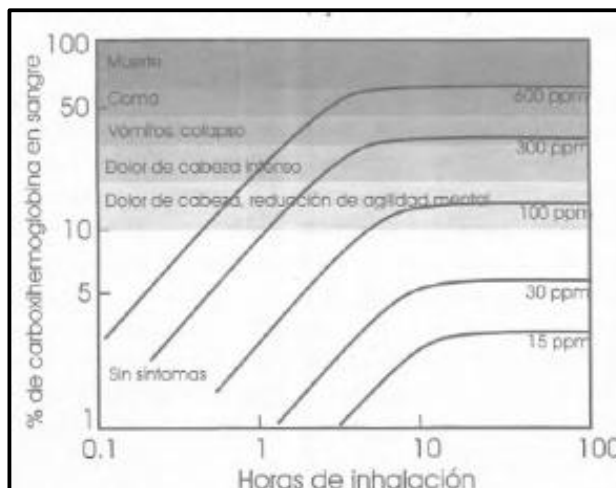


Figura 7 Efectos de inhalación

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.4.2 Hidrocarburos

Según (Payri, F. & Desantes, J., 2011, pág. 428), se emiten principalmente debido a la combustión incompleta del combustible.

A. Formación

Se forma debido a la evaporación incompleta del combustible y fugas de gases de escape. A una temperatura elevada la aparición de hidrocarburos es mínima, ya que estos se oxidan en el colector escape.

En los motores de gasolina los hidrocarburos con un número de carbono superior a 12 proporcionan menos del 5% de HC. En la actualidad no se limitan estándares para la concentración de PHA en el aire, ni en el escape de los motores.

Payri, F. & Desantes, J., (2011), menciona los compuestos oxigenados que podemos encontrar entre los hidrocarburos son (pág. 430):

- Alcoholes, fenoles y derivados: R-OH (grupo hidroxilo)

- Aldehídos y cetonas: R-CO-R (grupo carbonilo)
- Ácidos carboxílicos y derivados: R-COOH (grupo carboxilo)

B. Efectos

En el medio ambiente se debe a una reacción con otros compuestos provocando sustancias peligrosas o perjudiciales para la salud, además la máxima reactividad incremental (MIR), la determina como la influencia de la masa de ozono (formada por unidad de la misma) de un compuesto orgánico volátil expuesto a la atmosfera.

El ozono es un componente natural de las zonas altas de la atmósfera, pero en zonas bajas se debe a la presencia de un contaminante.

2.4.3 Emisiones de efecto invernadero

El efecto invernadero se debe a la emisión de ciertos gases como: el dióxido de carbono y el metano inmersos en la atmósfera. Este fenómeno evita que la energía del sol recibida en la tierra vuelva inmediatamente al espacio.

A. Formación

Este efecto se da en dos fases:

- Emisiones directas de gases de efecto invernadero, en partículas de CO_2
- Emisiones en ciclo de vida de CO_2 equivalente.

Las emisiones de CO_2 son las más significativas para el efecto invernadero causadas por los motores, sin embargo las emisiones de los gases durante el ciclo de productivo de algunos carburantes son apreciables razón por la cual se les denomina CO_2 .

B. Efectos

Según (Payri, F. & Desantes, J., 2011, pág. 442). Si el combustible consumido por un vehículo no se modifica, las emisiones de CO_2 , Son directamente emitidas a su consumo de combustible.

En la figura 8 se aprecia la proporción de hidrogeno/carbono y la razón oxígeno/carbono, la última en el caso de biocarburentes. Además se observa las emisiones de CO_2 por unidad de masa de combustible.

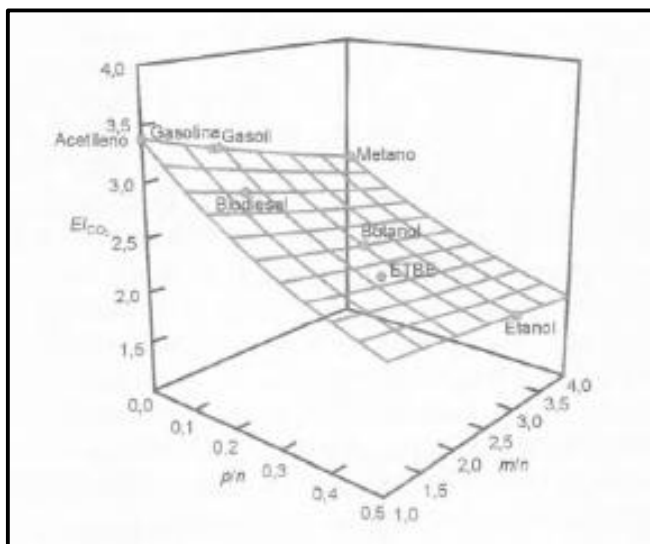


Figura 8 Formulación del combustible en las emisiones de CO_2

Fuente: (Payri & Desantes, 2011)

2.5. Sistema de alimentación de combustible

Según (Rojas, L., 2001, pág. 126), sistema encargado de: Recibir, almacenar y proporcionar el combustible para el funcionamiento del motor. Suministra en forma dosificada el combustible y es indispensable para el régimen de funcionamiento del motor, ya sea en ralentí, media velocidad o a plena carga.

2.5.1 Generalidades

Alonso, M., (1997), menciona: “El sistema de alimentación de combustible comprende los órganos destinados a llevar la mezcla de aire y combustible hacia los cilindros” (pág. 401).

Sistema que inicia desde la toma de aire del exterior y el combustible desde un depósito en el cual está contenido. Forman el sistema; Filtro de aire, depósito de combustible, bomba de combustible, uno o varios filtros de combustible, carburador o inyectores (si es inyección) y por último el colector de admisión.

La evacuación de los gases quemados en la combustión se realiza por el colector de escape, mediante un conjunto de tubos que conducen los gases hacia el medio exterior.

En conjunto los componentes del sistema de alimentación brindan al motor una mezcla adecuada para su desempeño y funcionamiento.

2.5.2 Componentes

El sistema de alimentación de combustible consta de los elementos que van desde el depósito hasta el múltiple de admisión, ya sea carburador o inyección (utilizado comúnmente en la actualidad). Elementos que se detallan a continuación.

2.5.2.1 Tanque de combustible

Construido de una chapa de acero con aleaciones antióxido, actualmente elaborado de polímeros especiales. Está alojado en el chasis y almacena el combustible para el funcionamiento del motor.

2.5.2.2 Conductos o cañerías.

Transportan el combustible desde el tanque hasta la entrada del carburador o riel de inyectores, son de dos tipos:

- Rígidos: Cañerías de acero teflón o cobre.
- Flexibles: Conducto de goma resistente a la reacción química del combustible.

2.5.2.3 Bomba de combustible.

Elemento encargado de enviar el combustible desde el depósito a través de cañerías, en forma permanente a una presión aproximada de 2 bares. Dependiendo el sistema si es a inyección necesariamente una bomba eléctrica ubicada en el depósito, si es de carburador bomba mecánica accionada por el eje de levas ubicada en el motor. En la figura (9,10) se observa una bomba mecánica y eléctrica.

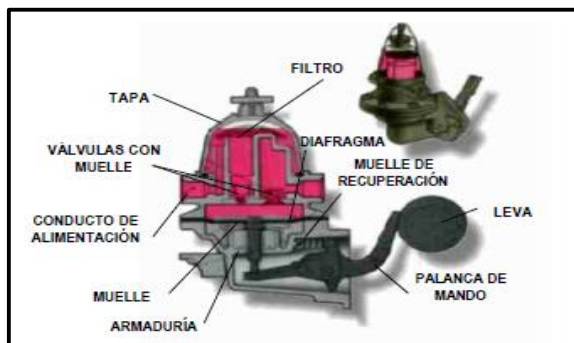


Figura 9 Bomba de combustible mecánica

Fuente: (Rojas, 2001)

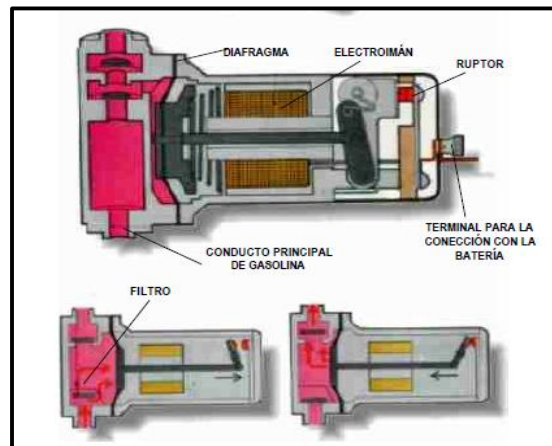


Figura 10 Bomba de combustible eléctrica

Fuente: (Rojas, 2001)

2.5.2.4 Filtro de combustible.

Elemento filtrante que atrapa partículas finas inmersas en el combustible, generalmente son de papel microporoso, cerámica o de combinación de cerámica y decantación.

2.5.2.5 Carburador.

Según (Rojas, L., 2001, pág.129), es un mecanismo dosificador de combustible, encargado de suministrar la cantidad necesaria de combustible, para los distintos regímenes de funcionamiento del motor. En la figura 11 se observa los elementos principales que conforman el carburador.

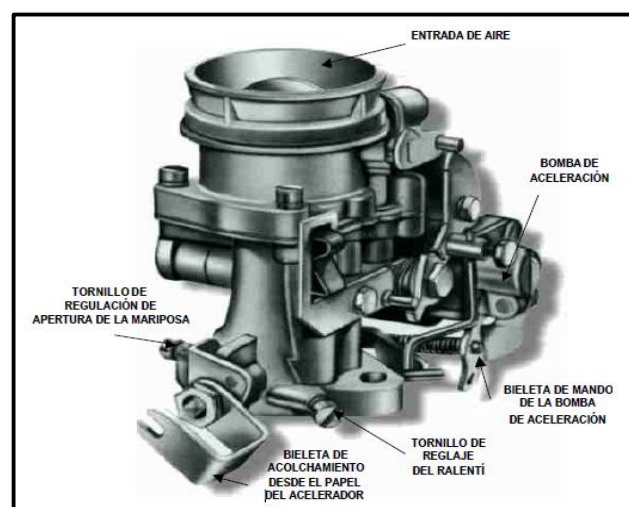


Figura 11 Carburador

Fuente: (Rojas, 2001)

2.6. Características técnicas cabezote TWIN CAM

En la actualidad la ubicación del árbol de levas tiene mucha importancia, debido al aumento de potencia que presenta en el motor y la reducción de pérdidas mecánicas en el accionamiento. Generalmente está ubicado en el cabezote y constituido de doble barra de levas o, en el block dispuesto de una sola barra de levas.

El cabezote está construido de hierro fundido, actualmente se fabrica de aluminio debido a la disminución de peso y la capacidad de transferencia de calor que brinda para la combustión.

2.6.1 Reseña histórica

Conocido generalmente como motor DOHC (doblé overhead camshaft) desde la década de 1920, pero restringido hasta 1980 debido a que era un sistema innovador enfocado para motores de competición (Ferrari, Alfa Romeo, etc.), por el aumento de potencia y la reducción de peso del mismo.

En 1980 estos cabezotes pasan a formar parte de los vehículos comerciales, es así como Fiat incorpora su motor FU con cilindrada desde 1400 hasta los 2000 cc. (Crouse, 1993) dice: “Anteriormente existían varias formas de ubicación del árbol de levas, el más conocido era el árbol de levas ubicado en el cabezote, el cual utilizaba empujadores, varillas y balancines para el accionamiento a las válvulas”.

Debido a que el árbol de levas era accionando por medio de un piñón acoplado al volante del motor, se perdía un porcentaje de potencia por los mecanismos que accionaba, sobre todo el ruido, la vibración y generalmente el alto costo para el mantenimiento de estos componentes, género a optar por otra alternativa como es el Cabezote TWIN CAM.

En la Actualidad existen una gran variedad de vehículos que incorporan el cabezote Twin Cam (DOHC), motores como: Chevrolet, Toyota, Nissan, Mitsubishi. Marcas que implementan varias modificaciones una de ellas, el calado de la leva con la que optimizan al máximo la potencia del motor.



Figura 12 Motor TWIN CAM Swift 1.6

2.6.2 Generalidades

Según (Orovio., 2010, pág. 94), para desarrollar el ciclo de funcionamiento del motor las entradas y salidas de gases, se coordinan y controlan a través de un conjunto de elementos denominados distribución del motor.

La utilización del cabezote TWIN CAM contribuyó en el avance de la industria automotriz, reduciendo al máximo los sistemas intermediarios entre el árbol de levas y las válvulas, ubicando las barras de levas sobre las válvulas por medio de propulsores hidráulicos, mecánicos o calibrables. (Ecured, 2016), menciona: “En los autos modernos el árbol de levas es accionado por una correa de distribución, que comunica las poleas con el volante del motor”. Normalmente los motores TWIN CAM poseen 4 válvulas por cilindro 2 para admisión y 2 para escape.

2.6.3 Sistema de distribución

Según (Orovio., 2010, pag. 93), existen varias posibilidades de diseñar la distribución, las cuales ofrecen la posibilidad de mejorar el rendimiento del motor y respuesta en un amplio margen de revoluciones por minuto (RPM).

El cabezote TWIN CAM dispone de doble árbol de levas, uno que acciona las válvulas de admisión y otro las de escape, además el múltiple de admisión y escape se ubican a diferentes lados, en la figura 13 se aprecia un cabezote de doble árbol de levas (DOHC).

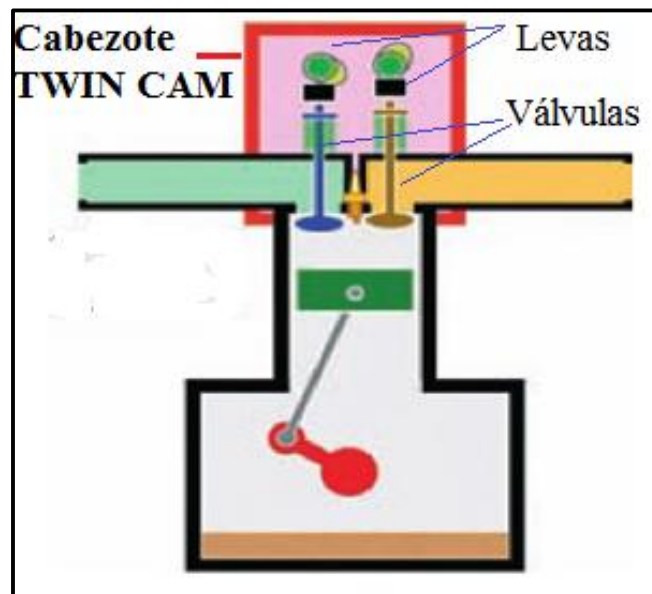


Figura 13 Esquema cabezote de doble eje de levas

Fuente: (Orovio, 2010)

En la figura 14 se muestra el despiece de elementos que conforman un cabezote (Guilli, 2016).

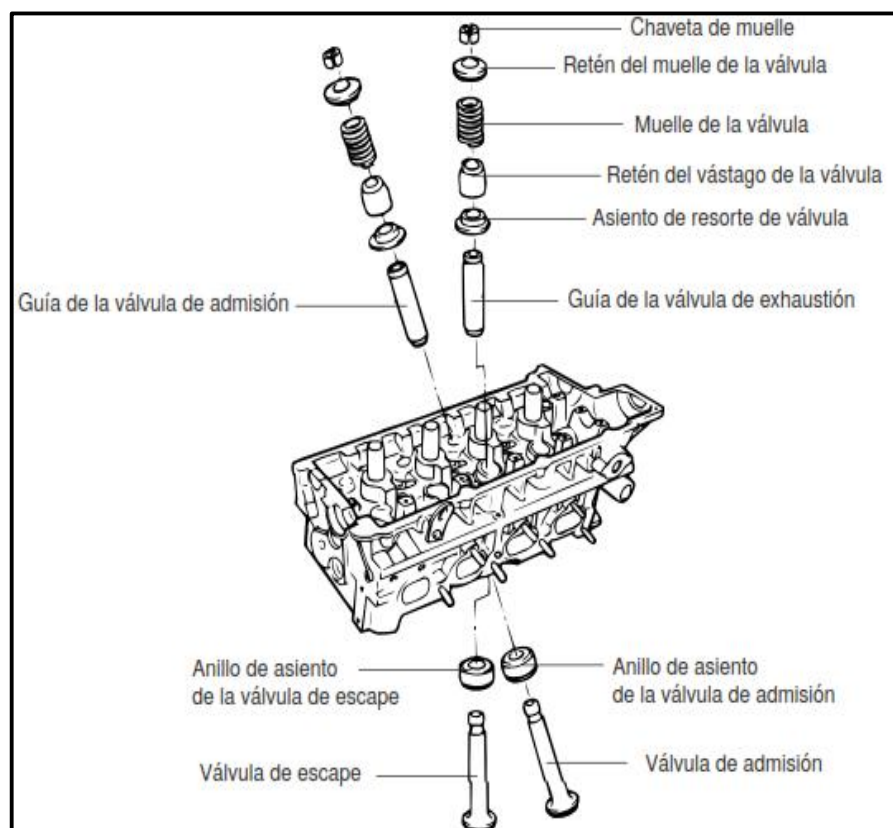


Figura 14 Componentes del cabezote

Fuente: (Guilli, 2016)

2.6.3.1 Levas y árbol de levas.

(Crouse, 1996), menciona: “Una leva es un dispositivo mecánico que cambia el movimiento de giro en otro lineal” (pág. 153). La leva dispone de una o varias crestas y un taqué apoyado sobre la leva que sube y baja conforme gira.

En la figura 15 se observa el accionamiento de la leva, el cierre se lo realiza por medio el muelle.

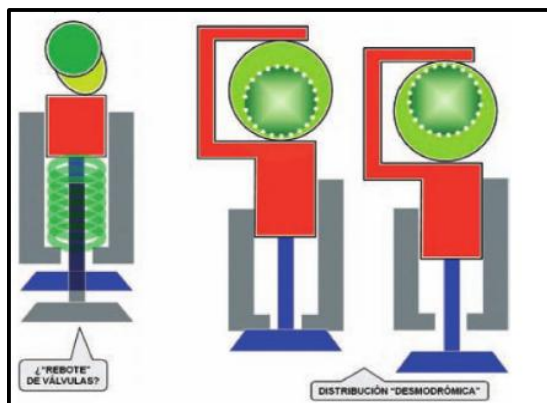


Figura 15 Accionamiento de la válvula

Fuente:(Orovio, 2010)

El accionamiento de las válvulas depende de dos tipos: Directo generalmente utilizado en motores revolucionados donde la transmisión del árbol al cigüeñal es por medio de una correa dentada o cadena, además este sistema utiliza frecuentemente 4 válvulas por cilindro por disponer doble árbol de levas en la culata. Indirecto: Accionado por intermedio de una varilla que recibe el movimiento del árbol de levas para permitir la apertura y cierre de válvulas.

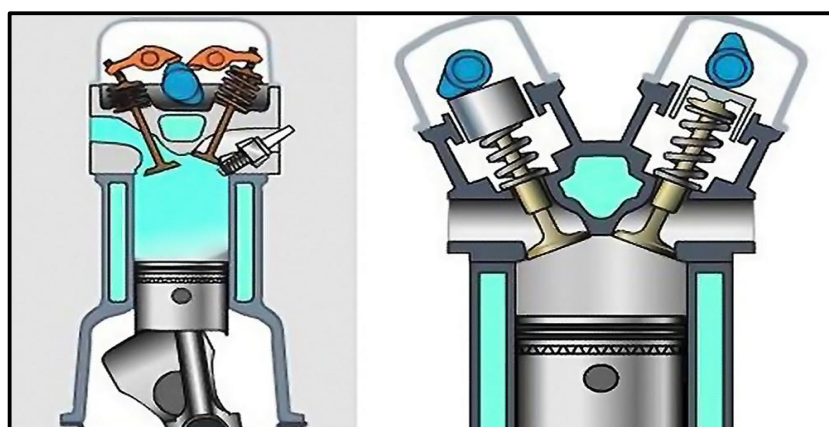


Figura 16 Accionamiento directo e indirecto de las válvulas

Fuente: (Ferrer, 2015)

2.6.3.2 Juego valvular

El sistema de distribución trabaja a temperaturas muy elevadas, razón por la cual sus componentes varían su longitud debido a la dilatación y desgaste que sufre por el mismo trabajo. En la figura 17 se aprecia el juego de válvula y los elementos de la misma.

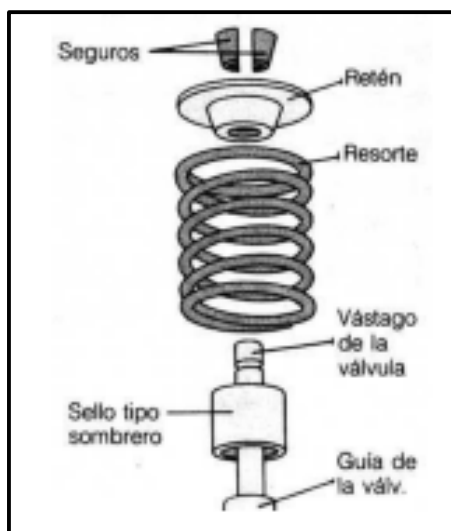


Figura 17 Conjunto de la válvula

Fuente: (Guilli, 2016)

2.6.3.3 Calado de la barra de levas

La terminología calado de la barra consiste en sincronizar los puntos de referencia del árbol de levas con el cigüeñal. Un factor de importancia para el correcto funcionamiento del motor, radica en la variación de grados de las poleas de levas. Los fabricantes de motores señalan con puntos de referencia los grados de adelanto o retraso de sincronización, para realizar desmontaje y montaje en el mantenimiento de cambio de la distribución.

Hoy en la actualidad existen poleas regulables las cuales permiten adelantar o retrasar el encendido de chispa de la bujía, tomando en cuenta los grados máximos o mínimos especificados por el propio fabricante.

Uno de los métodos para el calado de la distribución radica, en desmontar la bujía del cilindro N° 1, colocar un desarmador plano sobre el orificio de la bujía y girar el cigüeñal hasta que el pistón llegue al P.M.S (coronar el pistón). Se debe tener en cuenta que este proceso es para la posición del pistón, las poleas de la barras de

levas obligatoriamente deben estar posicionadas en sus puntos de referencia especificados por el fabricante, como se observa en la figura 18.

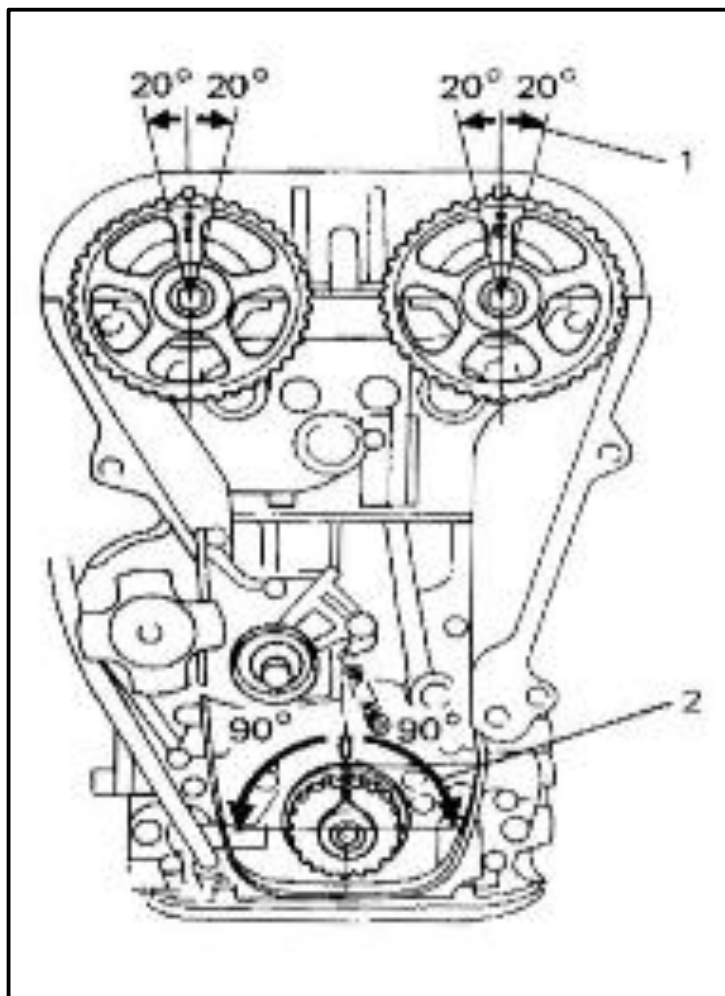


Figura 18 Calado de la barra de levas

Fuente: (Suzuki , 1991)

Las poleas del eje de levas (admisión y escape) vienen marcadas mediante letras admisión (I) y escape (E). Posee un rango de giro adicional que permite adelantar o retrasar de 20 grados a la derecha o a la izquierda. Para comprobar que esté correcto el calado de distribución se debe girar dos vueltas el piñón del cigüeñal y comprobar que no exista interferencia entre válvulas y el pistón.

2.6.3.4 Transmisión por cadena

El piñón del cigüeñal y de las barras de levas están comunicados por medio de una cadena, para el ajuste correcto de la cadena utiliza un tensor el cual se ubica en la mitad de recorrido conectado por un resorte que mantiene la tensión requerida para la distribución.

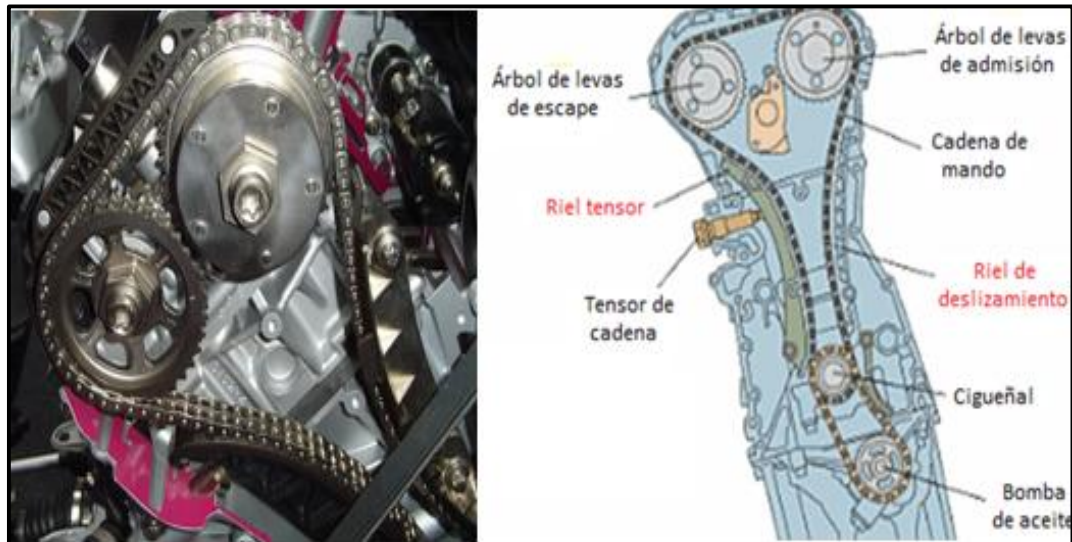


Figura 19 Mando de distribución por cadena

Fuente: (Pincay, 2015)

2.6.3.5 Transmisión por banda

Similar al de cadena hoy en día muy utilizado por el trabajo silenciado que presenta el material de la correa (neopreno), de menor peso y costo. Pero con una desventaja de su durabilidad inferior a la de cadena.

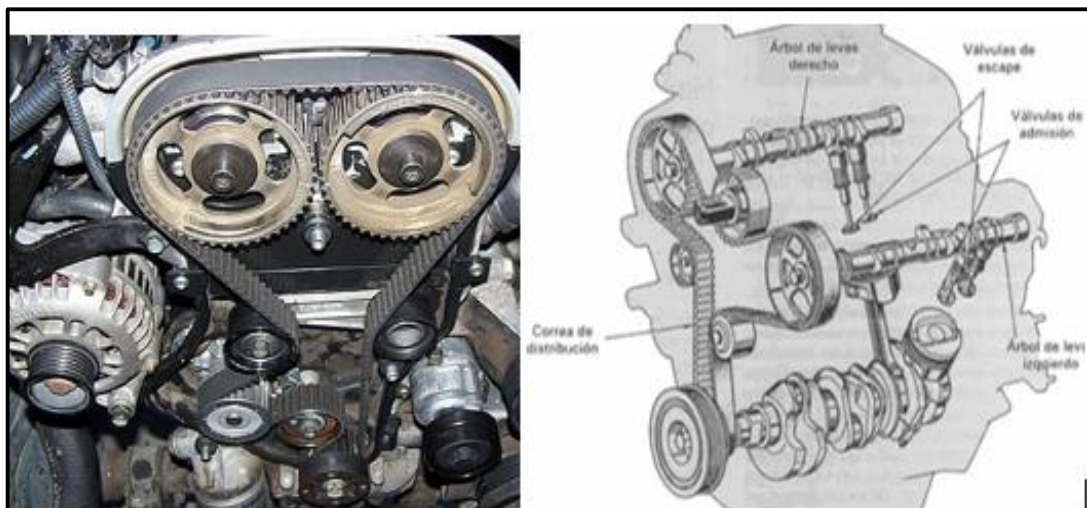


Figura 20 Transmisión por banda

Fuente: (fierrosclasicos.com, 2014)

2.6.3.6 Taques hidráulicos

Evitan en todo momento la holgura de la válvula, constan de un pistón pulimentado que se introduce en el cuerpo del taque, con una válvula de retención y

un resorte para el pistón el cual es fabricado de acero con un revestimiento de cromo para reducir el desgaste y la corrosión.

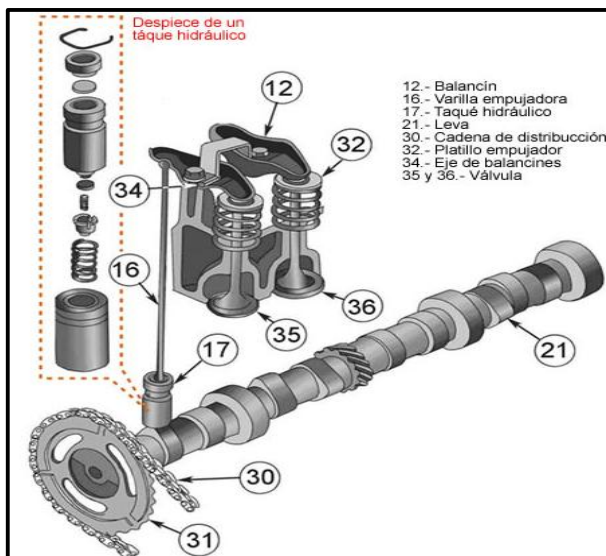


Figura 21 Despiece de un taqué hidráulico

Fuente: (Megane, 2014)

2.6.4 Ventajas

En los motores de gasolina el cabezote TWIN CAM permite ubicar la bujía en el centro de la cámara de combustión, con esto evitamos el fenómeno de Detonación debido a la alta carga del motor.

Según (Rainer, W., 2006), “Facilita un elevado régimen del motor, debido a que se elimina el arrastre de balancines. La forma de la cámara de combustión es hemisférica, ubicando las válvulas hacia los pistones logrando turbulencia de la mezcla comprimida, y permitiendo una evacuación de gases rápida hacia el exterior”.

En la actualidad se presenta el mecanismo de corrección de fase, conocido como distribución variable, facilitando el calaje independiente de cada árbol de levas mediante su recorrido, con lo que se logra un aumento de llenado de la mezcla.

Schlegemilch, Lehbrink., (2006), menciona: “El cabezote TWIN CAM facilita el espacio para las levas 2 de admisión y 2 de escape permitiendo un mejor llenado e intercambio de gases, brindando mejor par motor y un aumento de potencia superior al sistema de un árbol de levas (OHC) aunque el resto del motor sea idéntico”. La principal ventaja es que permite una correcta distribución de las cargas térmicas sobre las válvulas de escape debido a que estas se encuentran expuestas a altas temperaturas.

2.7. Sistema de inyección electrónica GTI

2.7.1 Historia

Gran Turismo inyección (GTI), lanzado primera vez por Maserati en 1961, en el modelo 3500 GTI como se observa en la figura 22. Un vehículo completamente deportivo con una potencia de 235 C.V. y velocidad de 230 Km/h, este modelo contaba de un motor de árbol de levas en el cabezote (DOHC).



Figura 22 Vehículo Maserati 3500 GTI

Fuente: (Nick, 2016)

Posteriormente Volkswagen en 1975 presento por primera vez en el salón del automóvil de Frankfurt el Golf GTI. “El origen de la saga nace en 1976 el primer VW Golf GTI de 4 cilindros 1.6 inyección Bosch K-Jetronic” (Ramos. 2010).



Figura 23 VW Golf GTI I (1976-1984)

Fuente: (Ramos, 2010)

En 1984 se lanza la segunda generación VW Golf GTI 1.8 y en 1986 se introduce al mercado el Golf GTI 16V con potencia de 129 CV. En 1990 aparece el

Golf GTI G60 con 160 CV siendo este la tercera generación del GTI, pero con una decepción ante sus versiones anteriores. Posteriormente en 1996 Volkswagen lanza su primera versión GTI Diésel: 1.9 L TDI de 110 CV (Ramos, 2010).



Figura 24 VW Golf GTI 1.8 (1991-1998)

Fuente: (Ramos, 2010)

Según (Penabad., 2010), en 1998 se estrena la cuarta generación El VW GTI con turbo de prestaciones estratosféricas en motores 1.8T y 2.3 V5, con 150 CV y un diseño deportivo como se observa en la figura 25.



Figura 25 VW Golf GTI (1998-2004)

Fuente: (Ramos, 2010)

En el 2006 y 2007 se mejora con un motor TFSi de inyección directa con 200 CV y una transmisión cambio automático. En el 2008 se lanza el motor 2.0 TSI de 210 CV y una aceleración de 0 a 100 km/h en 6.9 seg con velocidad máxima de 240 km/h. En la figura 26 se observa la equilibrada deportividad del vehículo VW GTI, con la novedad de un diferencial electrónico XDS (mejora la capacidad de tracción).



Figura 26 VW Golf GTI (2008-2013)

Fuente: (Ramos, 2010)

Finalmente en el 2017, se lanza al mercado automotriz el modelo VW Golf GTI Performance, con emisiones de 139 gramos por kilómetro de CO₂ y un cambio manual de 6 velocidades, Cumpliendo la normativa Euro 6 de emisiones contaminantes (Ramos. 2010).



Figura 27 VW Golf GTI 7 (2013-2017)

Fuente: (Ramos, 2010)

2.7.2 Generalidades

Según (Bosch, R., 2015), los sistemas de encendido e inyección de gasolina están basados en más de 100 años de investigación, siendo probado el primer sistema de inyección Bosch un avión alemán.

En 1967 los EE.UU, implementa la primera norma sobre los gases de escape, mediante el sistema D-Jetronic con regulación de presión en el múltiple de admisión.

Posteriormente en 1973 el sistema L-Jetronic y k-Jetronic. En 1979 se lanza al mercado mundial el sistema motronic único de procesamiento digital de varias

funciones del motor, combinando con el sistema L-Jetronic. En 1981 se crea el Sistema LH-Jetronic que utiliza un medidor de masa de aire de hilo caliente. El Sistema KE-Jetronic equipa un circuito de regulación electrónica y una sonda lambda.

Desde 1982 hasta la actualidad Bosch ha lanzado al mercado varios sistemas basándose en el rendimiento del motor y optimizando el consumo de combustible, mediante la innovación de nuevos elementos electrónicos como sensores, actuadores, válvulas de alivio, entre otros. (pág. 3).

2.7.3 Ventajas del sistema de inyección electrónica GTI

Según (Bosch, R., 2015, pág. 5), para que el motor tenga funcionamiento suave, sea económico y no contamine, necesita una mezcla de aire-combustible perfecta, optimizando los siguientes parámetros:

- Menor contaminación
- Menor consumo de combustible
- Arranque más rápido

En la actualidad la eficiencia de un motor de combustión interna está reflejado por dos aspectos:

2.7.3.1 Inyección multipunto

Sistema que utiliza un inyector por cada cilindro, como se observa en la figura 28, detallado de cada uno de sus elementos.

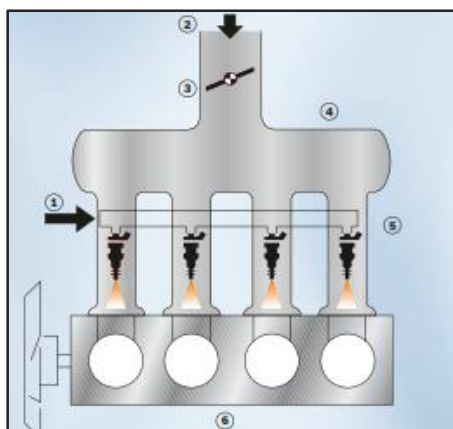


Figura 28 Inyección multipunto

Fuente: (Bosch, 2015)

1. Tubo distribuidor
2. Aire
3. Mariposa de aceleración
4. Múltiple de admisión
5. Inyectores
6. Motor.

2.7.3.2 Inyección monopunto

Sistema motronic que utiliza un inyector para todos los cilindros.

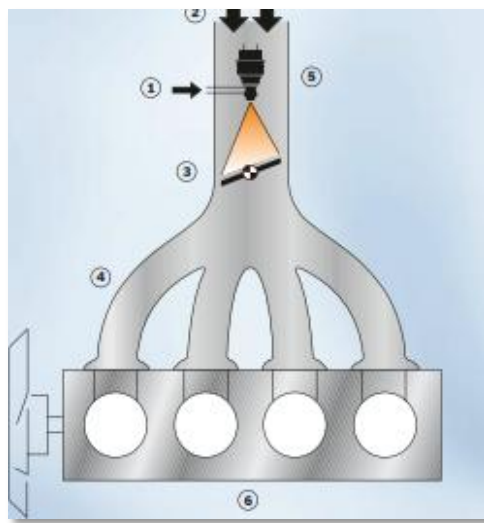


Figura 29 Inyección monopunto

Fuente: (Bosch, 2015)

1. Entrada de combustible
2. Aire
3. Mariposa de aceleración
4. Múltiple de admisión
5. Inyector
6. Motor.

2.7.4 Componentes

Bosch, R., (2015), menciona: “El sistema LE-Jetronic esta comandado electrónicamente y pulveriza el combustible sobre el múltiple de admisión, es analógico característica por la cual no posee memoria para guardar posibles fallas”. En la figura 30 se observa los componentes del sistema LE-Jetronic en conjunto.

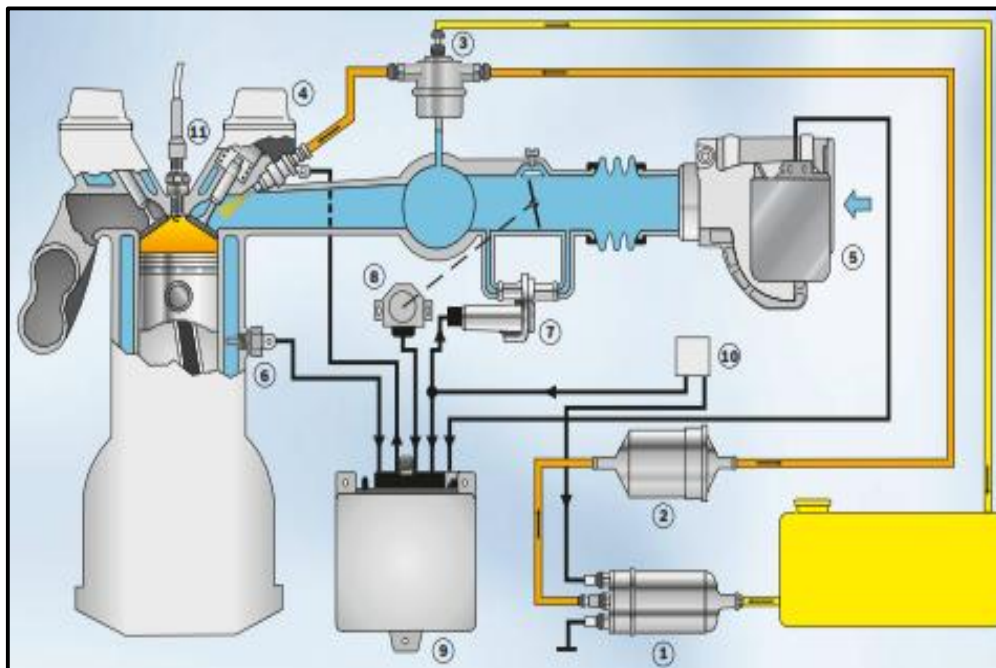


Figura 30 Sistema LE-Jetronic

Fuente: (Bosch, 2015)

1. Bomba de combustible
2. Filtro de combustible
3. Regulador de presión
4. Inyector
5. Medidor de flujo de aire
6. Sensor de temperatura
7. Adicionado de aire
8. Interruptor de la mariposa (TPS)
9. ECU (unidad de control electrónico)
10. Relé de comando
11. Bujía de encendido

2.7.4.1 Unidad de control

Cerebro del vehículo que determina la cantidad ideal de combustible a ser pulverizado de acuerdo a información que recibe de sensores del sistema. (Bosch, R., 2015), menciona: “La cantidad de combustible que el motor recibe, es determinado

por la unidad de control, de acuerdo al tiempo de abertura de las válvulas o tiempo de inyección” (pág. 14).

Román, N., (1990), dice: “Los factores que determinan el tiempo a la inyección son: la velocidad del motor y la cantidad de aire, más diversas compensaciones que detectan el estado del motor”. En la figura 31 se observa el diagrama de control de inyección de combustible.

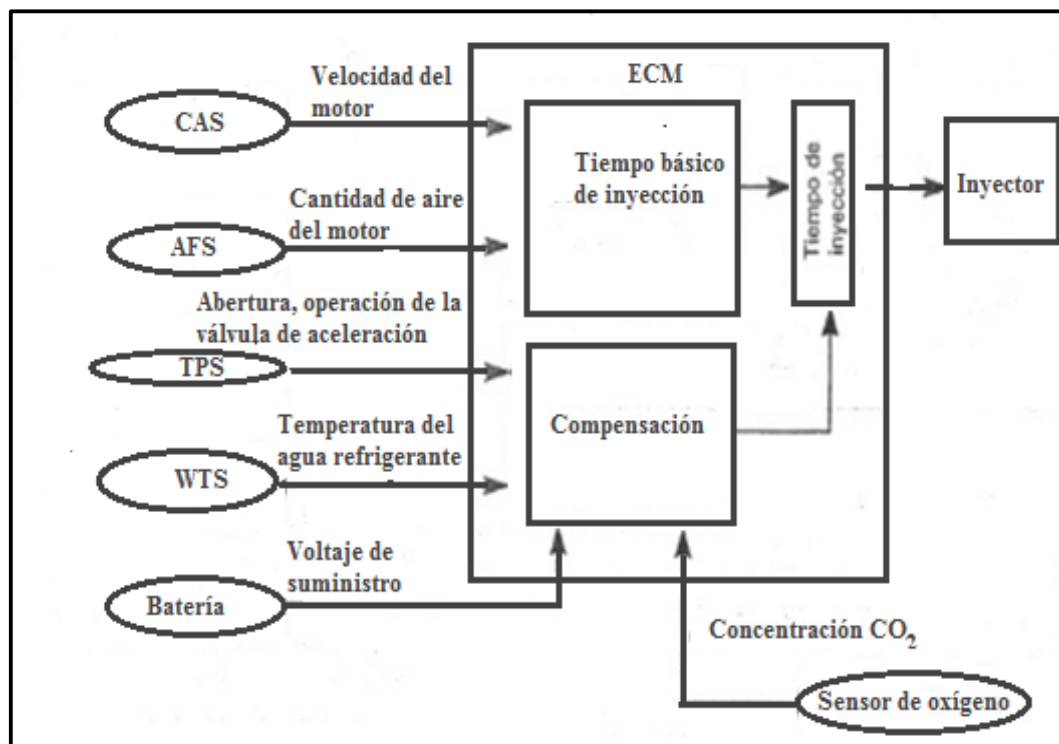


Figura 31 Diagrama del sistema de control de combustible.

Fuente: (Roman, 1990)

2.7.4.2 Sensores

A. Sensor de posición del árbol de levas (CAS)

Interruptor de conductor y magneto, a medida que el magneto gira con el cable del velocímetro su fuerza magnética produce el encendido y apagado del interruptor de conductor emitido al ECM como señales de impulsos.

En la figura 26 se observa la forma de onda que se genera en la medida que el rotor de señal gira se genera voltaje de C.A en la bobina Este impulso (12 impulsos/revolución) se emite al ECM, para controlar el reglaje de encendido.

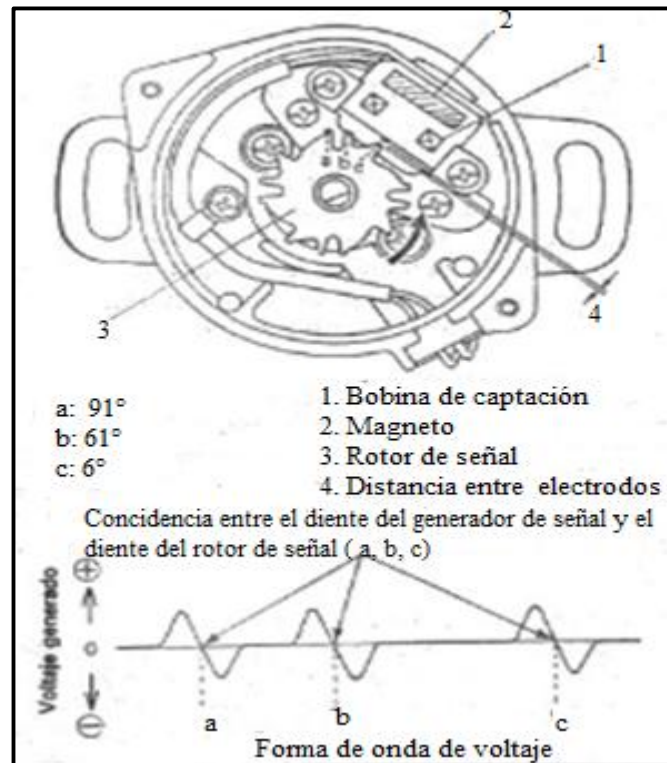


Figura 32 Sensor de posición del árbol de levas CAS

Fuente: (Román, 1990)

B. Medidor de flujo de aire (AFM)

Instalado entre el filtro de aire y la manguera de salida AFM. Detecta la cantidad de aire aspirado hacia el motor y envía esa información al ECM como señal de voltaje, con la que se controla los inyectores de combustible.

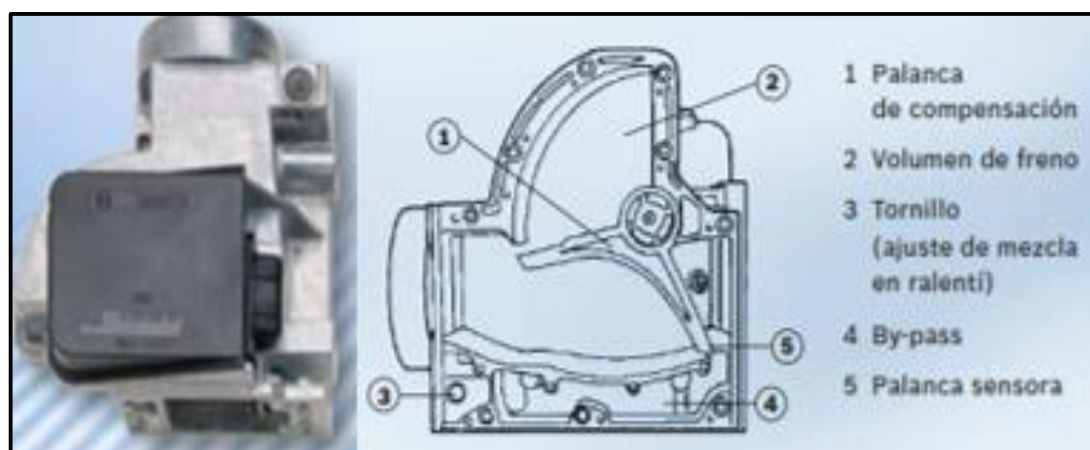


Figura 33 Medidor de flujo de aire (AFM)

Fuente: (Bosch, 2008)

- **Funcionamiento**

Cuando un hilo caliente energizado por medio de una corriente continua capta el flujo de aire, este a su vez consume su calor reduciendo la temperatura del hilo, por lo tanto a menor flujo de aire menor disipación de calor del hilo caliente, por el contrario a mayor flujo de aire mayor disipación de calor del hilo caliente.

C. Sensor de posición del acelerador (TPS).

Consiste en un platino de velocidad de ralentí y un potenciómetro, instalado en el conjunto del acelerador que detecta la posición de abertura y cierre de la válvula. La posición del acelerador se detecta mediante el platino y la abertura total se detecta por medio del potenciómetro. El ECM utiliza la señal del TPS para controlar el inyector de combustible y reglaje de encendido. En la figura 34 se observa la descripción del TPS.



Figura 34 Sensor de posición del acelerador (TPS)

Fuente: (Bosch, 2008)

D. Sensor de temperatura del agua (WTS)

Ubicado en el cabezote del motor, el cual mide la temperatura del agua refrigerante del motor por medio de una resistencia y un termistor, a medida que disminuye la temperatura del agua aumenta la resistencia o viceversa, el ECM utiliza esta señal para determinar estado del motor.



Figura 35 Sensor de temperatura de agua (WTS)

Fuente: (Bosch, 2008)

E. Sensor de oxígeno

Ubicado en el múltiple de escape, detecta la concentración de oxígeno en los gases de escape consta de un elemento circonio que genera una fuerza electromotriz cuando existe una diferencia de oxígeno entre sus caras y conforme varia su temperatura la fuerza electromotriz se amplifica por la reacción catalítica del platino, el sensor informa la concentración de Oxígeno.

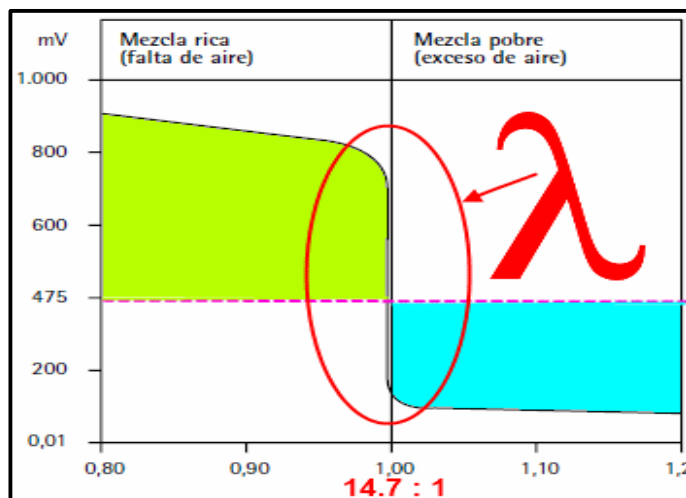


Figura 36 Curva característica del sensor de oxígeno

Fuente: (autodaewoospark.com, 2016)

2.7.4.3 Actuadores

A. Bomba de combustible

Bosch, R., (2015), menciona: “La bomba de combustible consta de una armadura, un magneto impulsor, una válvula de retención” (pág. 20). Envía

combustible a una presión constante aplicada al inyector de 2.55 Kg/cm^2 (255 KPa. 36.2 Psi.).

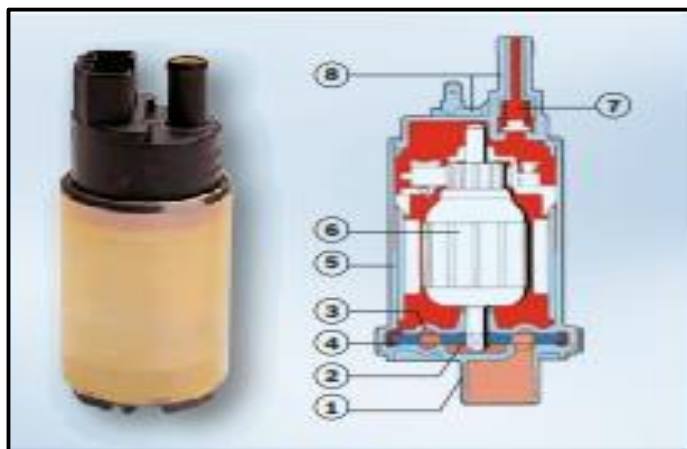


Figura 37 Componentes de la bomba de combustible

Fuente: (Bosch, 2008)

Componentes de la bomba de combustible:

1. Tapa de lado de aspiración
2. Disco de aspiración
3. Galería primaria
4. Galería principal
5. Carcasa
6. Inducido
7. Válvula de retención
8. Lado de presión y conexión de salida.

B. Prefiltro

Retiene las impurezas contenidas en el combustible y se ubica en la tapa de aspiración de la bomba como observamos en la figura 38.



Figura 38 Prefiltro

Fuente: (Bosch, 2008)

C. Inyectores

(Bosch, R., 2015), menciona: “Los inyectores son comandados electromagnéticamente al abrir y cerrar el paso de combustible, por medio de impulsos eléctricos provenientes de la unidad de comando”.

Cuando la bobina del inyector es energizada por el ECM se convierte en un electroimán atrayendo al pistón y al mismo tiempo la válvula de aguja incorporada en el mismo, se abre y el inyector que está bajo presión del combustible e inyecta.

La cantidad de combustible inyectada se determina mediante el período de tiempo, durante el cual la bobina del solenoide esta energizada (tiempo de inyección). A continuación se aprecia la vista en corte de un inyector.

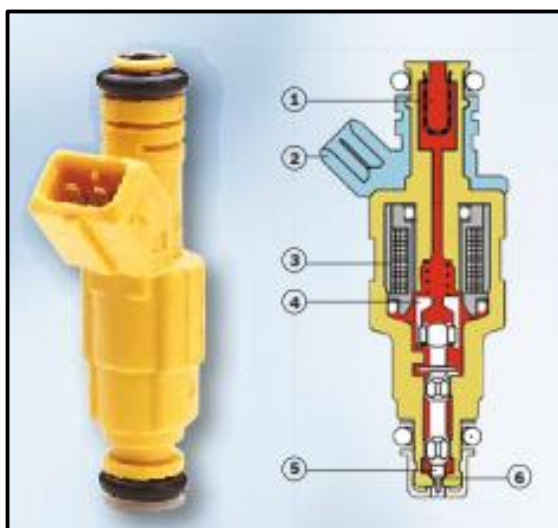


Figura 39 Corte de un inyector

Fuente: (Bosch, 2008)

1. Malla
2. Conexión eléctrica
3. Bobina magnética
4. Inducido
5. Aguja
6. Perno cónico

D. Regulador de presión de combustible

Válvula de alivio operada por un diafragma, éste mantiene la presión de combustible aplicada al inyector de (36.2 psi), cuando la presión es superior a la

mencionada se abre esta válvula y retorna el combustible hacia el depósito por medio de la línea de retorno (Román, N., 1990, pág. 11).

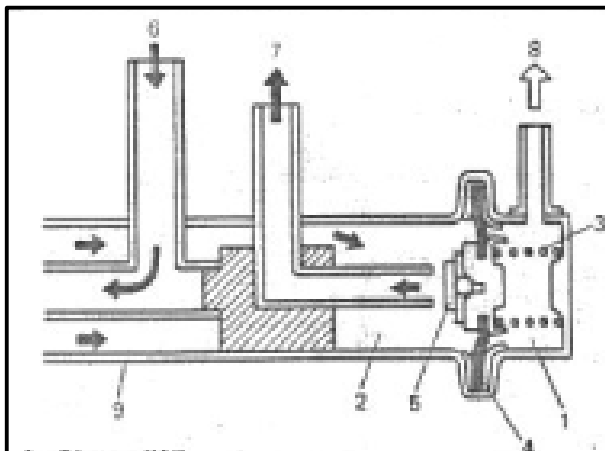


Figura 40 Sección regulador de combustible

Fuente: (Román, 1990)

1. Cámara "A"
2. Cámara "B"
3. Resorte
4. Diafragma
5. Válvula
6. Toma de la bomba de combustible
7. Retorno al depósito de combustible
8. Conducto al múltiple de admisión
9. Tubo de suministro de combustible

E. Válvula solenoide ISC

Mantiene en ralentí al motor debido a la variación de la presión atmosférica y la variación estable del motor con el paso del tiempo. Durante el arranque del motor, el ECM mantiene la válvula solenoide funcionando con lo que se obtiene un mejor arranque.

Este sistema ajusta automáticamente la velocidad de marcha en ralentí del motor al rango especificado mediante el ECM, en la figura 35 se observa la sección de corte de funcionamiento de la válvula solenoide ISC.

- Múltiple de admisión

- Válvula solenoide ISC

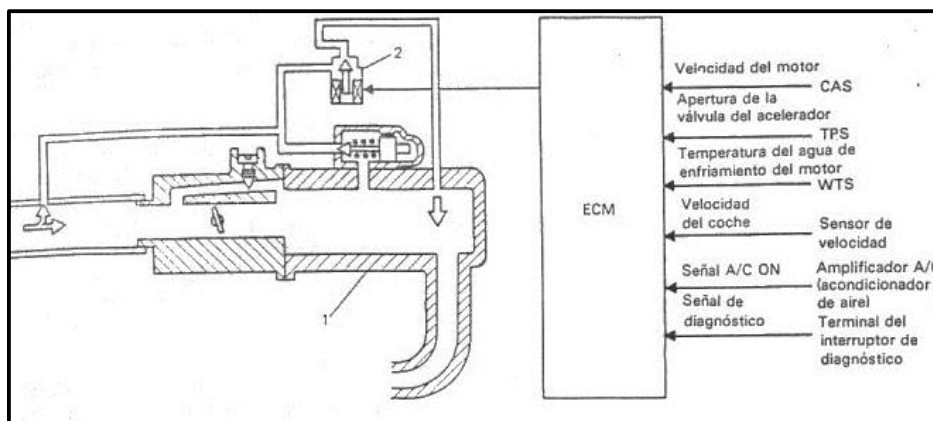


Figura 41 Corte válvula solenoide ISC

Fuente: (Román, 1990)

2.7.4.4 Diagrama de conexión

En la figura 42 se detalla el diagrama de conexión del sistema de inyección electrónica de combustible.

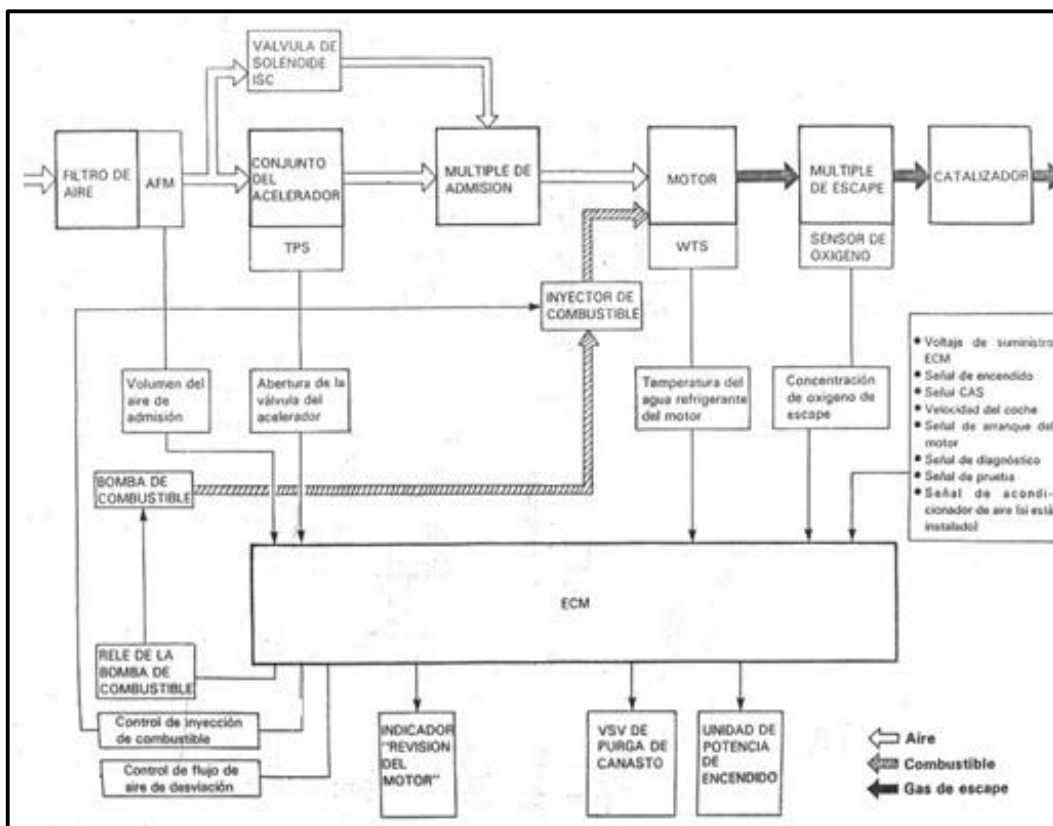


Figura 42 Diagrama de inyección electrónica de combustible Swift GTI.

Fuente: (Román, 1990)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PRUEBAS Y USO DE EQUIPOS

3.1. Metodología para la obtención de parámetros característicos

El método desarrollado para esta investigación es experimental, ya que es de carácter técnico, para el cual se realizó pruebas, antes y después de la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI al motor Swift G16A en el taller automotriz “Servicio Automotriz Acosta”, laboratorio del CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional y en la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE-L, para el levantamiento de datos se utilizó protocolos de pruebas de los laboratorios, además equipos tecnológicos que midieron parámetros como torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes los cuales me permiten analizar las variables de investigación y a través de cálculos obtener valores aproximados para el análisis de los parámetros térmicos y mecánicos del motor.

3.1.1 Banco de pruebas para recolección de curvas de rendimiento

El banco de potencia LPS 3000 con rodillos dobles para coches y camiones permite determinar la potencia, torque y consumo de combustible del motor. Consiste en un sistema de rodillos ubicados en el suelo sobre la cual se ubican las ruedas del vehículo, como se observa en la figura 43.



Figura 43 Vehículo en dinamómetro LPS 3000 MAHA

Las pruebas que se obtienen en el dinamómetro de rodillos proporcionan datos reales, debido a que se realizan en un laboratorio con los parámetros confiables

y los rangos de funcionamiento del vehículo, registrando la potencia y torque en datos reales y curvas características del motor.

3.1.1.1 Componentes del dinamómetro de rodillos.

El dinamómetro de rodillos está constituido de los elementos descritos en la (figura 44) y son:

- Bastidor:

Parte del dinamómetro donde soporta todos los esfuerzos producidos por el peso de los elementos que integran el dinamómetro y el mismo vehículo en las pruebas respectivas.

- Rodillos:

El número de rodillos depende de la aplicación del dinamómetro, desde un rodillo hasta un juego de varios rodillos. Son cilindros que giran sobre un eje el cual está conectado a la unidad de absorción de potencia con la que se puede determinar la velocidad de giro.

- Sistema de inercia:

El sistema de inercia aumenta o disminuye la inercia total del dinamómetro determinando de este modo la resistencia de avance que presentaría el vehículo en su funcionamiento en calzada.

- Dispositivo de adquisición de datos:

Formado de dos mecanismos: El primero una celda de carga, mecanismo que convierte la fuerza en una señal eléctrica la cual es procesada y transformada en un dato. El segundo es un dispositivo de adquisición que consta de una rueda fónica y un captador magnético, el cual recibe el pulso y lo procesa como dato.

- Unidad de absorción de potencia.

Está acoplado a uno los rodillos y ubicado sobre los extremos de los rodamientos, es la unidad que gira en el mismo sentido que los rodillos razón por la cual es fija al chasis mediante una celda de carga la cual mide la fuerza con la que gira. Funciona de acuerdo a los tipos de freno para oponerse al giro de los rodillos. Freno Prony, freno de corrientes parasitas, freno hidráulico.

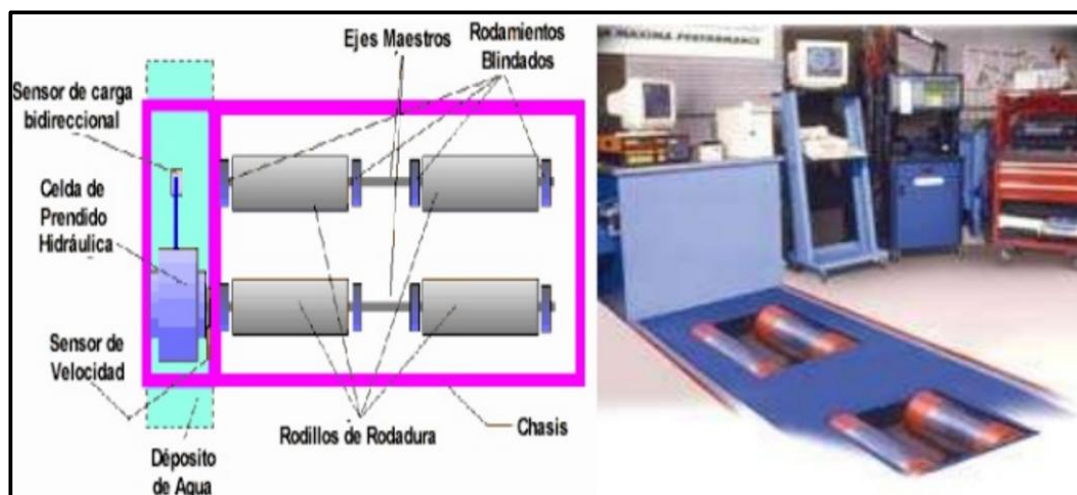


Figura 44 Elementos de un dinamómetro de rodillos

Fuente: (Trouse, 2013)


3.1.1.2 Características principales del dinamómetro de rodillos LPS 3000

- Utilizado para camiones de hasta 660 KW de potencia de rueda.
- Medición de potencia con registro de la potencia del motor, revoluciones del motor y velocidad.
- Diagnóstico en la simulación de carga.
- Conexión de aparatos externos como el analizador de gases MGT 5

Tabla 4

Características dinamómetro LPS 3000

Juego de rodillos	R200/2 reforzado
Carga sobre el eje	15 t
Longitud (mm)	2260 por tornillo
Ancho (mm)	1100
Altura (mm)	865
Peso	Aprox. 1310 kg por rodillos
Longitud del rodillos	900 mm
Vía min.	1000 mm
Vía máx.	2800 mm
Diámetro mínimo de rueda para ensayar	12 “
Diámetro de rodillos	318 mm

CONTINÚA 

Distancia entre rodillos	565 mm
Sistema de elevación con bloqueo de rodillos	
Hidráulica	Si
Neumática	No
Datos eléctricos	
Datos corr. Parásita	2*330Kw
Alimentación	400 V/50Hz
Campo de indicación	
Velocidad de ensayo	Max. 200km/h
Potencia rueda	30- máx. 660 Kw
Fuerza de tracción	Max. 25 KN
Núm. de revoluciones	10-10000 rpm
Precisión de medición	+/-2% del valor de medición

Fuente: (MAHA, 2016)

3.1.1.3 Control del dinamómetro.

Para el control del dinamómetro y obtención de datos se utiliza interfaces computarizadas, mediante el giro de los rodillos y sensores se procesa la velocidad de giro con lo que se procesa los datos en un mínimo margen de error por cada prueba del vehículo.

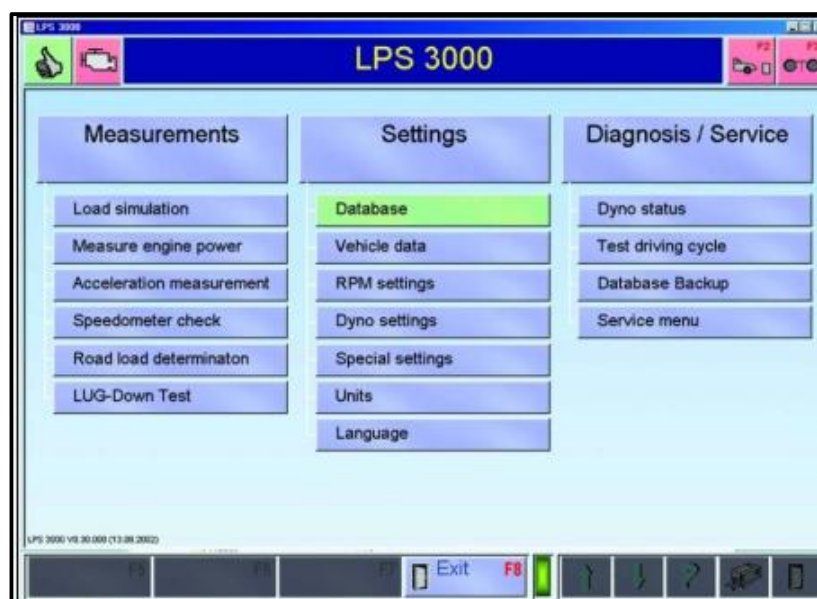


Figura 45 Inicio software MAHA LPS 3000

Fuente: (MAHA, 2016)

En la simulación el usuario tiene la opción de especificar los valores que representan los datos de la prueba, de este modo se puede elegir el tipo de vehículo y las condiciones de funcionamiento del fabricante.

The 'Vehicle data' screen includes the following sections:

- Motor Type:** Otto (selected), Diesel, Wankel
- Supercharging:** no / mech. charger (selected), Turbo (air-cooled), Turbo (water-cooled)
- Transmission:** Manual transmission (selected), Automatic
- Torque converter:** Bridging, Measured slip, Input (value: 2,00)
- Drive:** Front drive (selected), Rear drive, 4 wheel drive
- Power class:** 10kW, 25kW, 50kW, 100kW, 250kW (selected), 500kW
- Power correction:** None (selected), DIN, EWG, ISO, JIS, SAE
- Additional factors:** f_{in} (value: 0,30), Q_v [%] (value: 0,00), P_{vA} [kW] (value: 0,00)
- Limit values:** v_{max} [km/h] (value: 250), n_{max} [rpm] (value: 7200), T_{max} [°C] (value: 100)
- Rotating inertia:** Standard inertia (selected), Determin inertia, Input (value: 0,0)
- Miscellaneous:** OBD vehicle (selected)

Navigation buttons at the bottom: Return (F5), Database (F6), Continue (F8), and a set of arrow and function keys.

Figura 46 Parámetros del vehículo para prueba, dinamómetro LPS 3000

Fuente: (MAHA, 2016)

Una vez insertado los datos y parámetros del vehículo especificado por el fabricante el computador muestra los valores de torque, potencia normal del motor, de arrastre y a la rueda con las respectivas curvas.



Figura 47 Curvas de torque y potencia dinamómetro LPS 3000

Fuente: (MAHA, 2016)

3.1.2 Analizador de gases de escape

Elemento encargado de medir la emisión de residuos de la combustión incompleta de carburantes como la gasolina o diésel.

En nuestro país el monitoreo para motores a gasolina se basa en el reglamento RTE INEN 017, y para motores a diésel bajo la norma RTE INEN 2202, la cual mide el grado de oscurecimiento que tiene el gas de escape (Opacidad). En la (figura 42) se observa el analizador de gases MAHA MGT 5 elemento encargado de medir HC, CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x, concentración de masa de partículas y coeficiente de opacidad.



Figura 48 Analizador de gases MAHA MGT 5

Fuente: (MAHA, 2016)

3.1.2.1 Elementos de analizador de gases

Filtro de carbón activo y sensores electroquímicos, encargados de medir los niveles contaminantes de los carburantes producidos por el vehículo. En el frente dispone de un módulo insertable encargado de la medición de revoluciones del motor, adicional a esto una toma de módulo E-OBD, mediante la cual determina los valores exactos para las pruebas del vehículo.



Figura 49 Constitución del analizador de gases MGT 5

Fuente: (Laboratorio del CCICEV)

Consola de comunicación MCD 2000, interfaz donde se asigna los parámetros del vehículo para las respectivas pruebas de emisión de gases contaminantes.



Figura 50 Datos generales del analizador de gases MGT 5

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

3.1.2.2 Características del equipo analizador de gases

El analizador MGT 5 recibe los datos obtenidos por medio de sensores electroquímicos, que detectan el nivel de contaminantes a través del dispositivo colocado en la salida del tubo de escape.

Tabla 5

Características analizador de gases MGT 5

MGT-5					
Ámbito de aplicación	Medición de gases de escape móvil o fija en procedimiento de corriente parcial con carga parcial en motores Otto de gasolina o gas				
Gases Mesurable	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO(opcional)
Rangos de medición	0-15,0 Vol. %	0-20 Vol. %	0-2000 ppm vol. (Hexano) 0-4000 ppm vol. (propano)	0-25 Vol. %	0-5000 ppm Vol.
Resolución de valores de medición	0.01 Vol. %	0.01 Vol. %	1 ppm Vol.	0.01 Vol. %	1 ppm Vol.
Principio de medición	Infrarrojo	Infrarrojo	Infrarrojo	Electroquim	Electroquim
Valor Lambda	Rango de indicación: 0.500-9.999 Resolución: 000.1 Calcula según Brettschneider				
Fase de calentamiento	Min. 30 s, máx. 10 min., Promedio 2.5 min Termoregulado				
Tasa de circulación total	Max. 3.5 l/min Min. 1.5 l/min				
Caudal de gas de medición	Max. 2.5 l/m Bomba de membrana				
Suministro de corriente	85-280 v a 50Hz 65W/12-24 V DC				
Temperatura de funcionamiento	+5 @ +45 °C Variación +- 2°C				
Temperatura de almacenamiento	-10 @ -60 °C Variación +- 2°C				
Prueba de estanqueidad	Guiada por menú min. 1 vez al día				

CONTINÚA 

Prueba de residuos de HC/ajuste a cero	Automático
Calibración	Guiada por menú con PC gas de calibración especial (específico del país)
Interfaces	LON CBD USB
Dimensiones	560*240*300 mm
Peso	Aprox. 10 kg
Medidor de rpm	100-10000 rpm Resolución ww. 1, 5,10, 50 rpm
Termómetro de aceite	0-150 °C Resolución 1°C
Clase de precision	PTB: Clase 1 OML: Clase 0

Fuente: (MAHA, 2016)

3.2. Protocolo de pruebas para torque y potencia

El protocolo de pruebas se basa en la norma SAE J1349, norma de ensayo de la potencia de los motores, que cumple con todos los elementos necesarios en el motor, como el ventilador y el radiador, brindando un valor de potencia neta. Utiliza un factor de corrección de potencia y par que depende de las condiciones geográficas, y un protocolo de pruebas que indica las condiciones a cumplir en la medición de torque y potencia a plena carga por medio del dinamómetro.

3.2.1 Requisitos para la prueba

- Verificar que el diámetro de las ruedas del vehículo sea igual o superior a 13" (R13). Y observar que el perfil del neumático se encuentre libre de piedras en el labrado.
- Comprobar el funcionamiento y la temperatura normal del motor caso contrario poner el motor a un periodo de calentamiento del motor.
- Colocar y poner en funcionamiento el ventilador de refrigeración del banco de pruebas LPS 3000.
- Utilizar el equipo de protección personal como: protectores del oído (homologada a un nivel ruido de hasta 120 db (Au)), zapatos de seguridad, gafas, guantes y un mandil de protección.



Figura 51 Medidas de seguridad

3.2.2 Consideraciones de la prueba

- Ubicarse fuera de la zona de peligro debido a que las partes rotativas son peligrosas.
- Cerrar el interruptor principal en caso de emergencia, (interruptor de parada)
- Colocar el succionador de los gases de escape de forma correcta para que no exista intoxicación hacia el operador del Dinamómetro.
- Verificar que las correas de tensado estén en correcto estado (correas que trabajan a una temperatura de empleo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- En caso de someter a un esfuerzo de larga duración al dinamómetro, se debe girar los rodillos del mismo por un lapso de 3 minutos sin carga con una velocidad de 50 - 80 km/h y realizar una nueva prueba después de 10 minutos
- No girar el volante de conducción mientras se realiza la prueba.
- Revisar el ajuste de los pernos de sujeción de la tapa de protección del freno de corrientes parásitas. En la figura 52 se aprecia las debidas consideraciones de la prueba.



Figura 52 Consideraciones de la prueba

3.2.3 Uso de equipos

- Preparar el vehículo.
- Ubicar el vehículo en el banco de pruebas y los componentes para la prueba torque y potencia.
- Colocar y asegurar los equipos necesarios para la prueba.
- Encender el equipo de diagnóstico de pruebas LPS 3000.
- Configurar el equipo de pruebas LPS 3000 de acuerdo a las especificaciones del fabricante del vehículo y las debidas consideraciones.
- Encender el vehículo.
- Determinar la alineación correcta del tren donde se encuentra la transmisión con la posición de los rodillos del dinamómetro, girando las ruedas con una velocidad de 20 km/h.
- Realizar la prueba de acuerdo a las rpm especificadas por el banco de pruebas para el registro los datos.
- Tomar y registrar los datos desplegado en el Dinamómetro LPS 3000



Figura 53 Uso de equipo en la Prueba

3.3. Protocolo de pruebas para consumo de combustible.

La prueba de consumo de combustible se realizó en el laboratorio del CCICEV, en el dinamómetro de rodillos LPS 3000, para simular el recorrido se basó en la prueba del ciclo de conducción europea NEDC, que consta de dos partes. ECE-15, prueba de ciclo urbano repetido cuatro veces, en un tiempo de 0 -780 seg. Y EUDC un ciclo extraurbano en un tiempo de 780 - 1180 seg. En la figura 54 se observa el consumo de combustible de acuerdo a la norma Europea del ciclo NEDC.

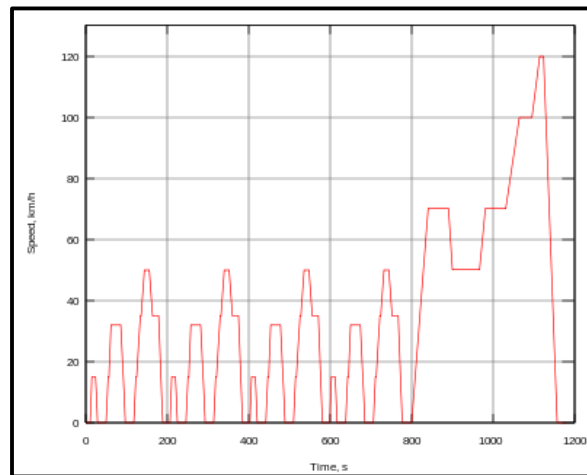


Figura 54 Simulación ciclo NEDC

Fuente: (NEDC, 2004)

3.3.1 Requisitos para la prueba

Se tomó los requisitos de prueba de torque y potencia que se realizó en el laboratorio del CCICEV, configurando el software para la prueba de ciclo Europeo (NEDC).

El ciclo europeo consiste en una secuencia de tres etapas de carga en cada una de las tres velocidades del motor a (ciclo 1), b (ciclo 2), c (ciclo 3) determinado de conformidad con el anexo III, sección 1.1, (European Parliament, 2004), seguido del ciclo 4, a velocidad dentro de la zona de control y una carga entre 10% y 100%, seleccionada por el servicio técnico. Se seguirá la siguiente secuencia en el funcionamiento del dinamómetro en el motor de prueba, tal como se muestra en la figura 55.

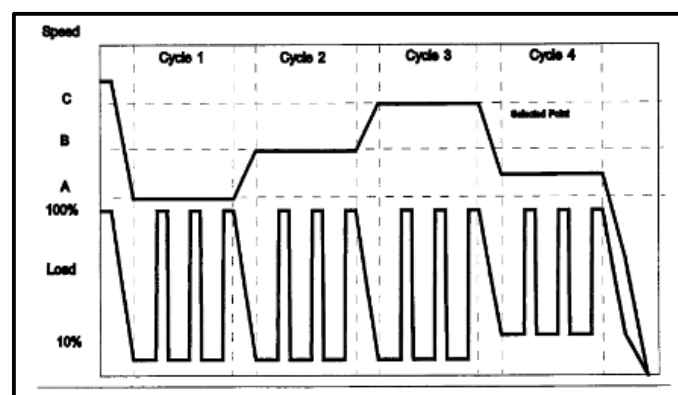


Figura 55 Prueba ciclo NEDU

Fuente: (European Parliament, 2004)

3.3.2 Consideraciones de la prueba

Para realizar la prueba se debe adjuntar las siguientes condiciones controladas.

- Distancia recorrida de 11007 metros en el dinamómetro de rodillos
- Duración de la prueba de 1180 seg (casi 20 minutos)
- Velocidad media de 33.6 Km/h
- Velocidad máxima de 120 Km/h
- Aceleración máxima de 1.04 m/seg²
- Tiempo en ralentí de 300 seg (25 % del total)
- Peso total (vehículo vacío + 100 kg ocupante + 90% de combustible + fluidos + rueda de emergencia).
- Temperatura ambiente entre 20 °C y 30 °C
- Aire acondicionado apagado

3.3.3 Uso de equipos

- Desconectar el socket de la bomba de combustible, ubicado debajo del asiento de pasajeros del vehículo, debido a que se utilizó combustible desde un depósito externo de acuerdo a la norma Europea (NEDC)
- Desconectar las cañerías entrada y retorno del combustible hacia el riel de inyectores.
- Conectar las cañerías del equipo de medición para la prueba de consumo de combustible al riel de inyectores, la muestra de combustible fue de 5 litros a una presión de 36.5 KPa.



Figura 56 Equipos de consumo de combustible

- Verificar fugas de combustible en las cañerías de combustible.
- Realizar la prueba de ruta en el dinamómetro LPS 3000 de acuerdo al ciclo NEDC. (Duración aproximada de 20 min).
- Finalizada la prueba se debe desconectar el equipo de consumo de combustible, luego despresuriza el mismo y por último se observa el valor consumido en la probeta de muestra como se aprecia en la siguiente (figura 57).



Figura 57 Muestra de combustible

- Por último se conecta el sistema de alimentación del vehículo y se pone en funcionamiento.

3.4. Protocolo de pruebas de acuerdo con la norma de marcha mínima o ralenti INEN 2203:2000.

Norma dirigida bajo gestión ambiental del Instituto Ecuatoriano de Normalización."INEN", GESTION AMBIENTAL. AIRE. VEHICULOS AUTOMOTORES. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MINIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTATICA

3.4.1 Requisitos para la prueba

- a) El equipo de medición debe contar con un tacómetro para la medición de revoluciones del motor.

- b) El equipo debe encontrarse calibrado, adicional el gas de calibración debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ISO 61454 (Certificación emitida por el fabricante)
- c) Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o ralentí.

3.4.2 Consideraciones de la prueba

- Someter al equipo de prueba a un periodo de calentamiento de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- Eliminar partículas extrañas acumuladas en la sonda de prueba debido a que pueden alterar la lectura de gases en el ensayo.
- Verificar que el aire acondicionado este apagado en conjunto con los accesorios del vehículo.
- Comprobar que el tubo de escape no se encuentre con roturas debido que pueda causar fugas de gases de escape en el ensayo. Si se encuentra roto no se debe realizar la prueba hasta corregir el problema.
- Comprobar que el nivel de aceite sea el correcto ubicado entre la posición mínima y máxima.
- Poner en funcionamiento el vehículo a la temperatura normal de operación.

3.4.3 Uso de equipos

- Ubicar en el área de prueba el equipo de control de emisiones
- Realizar una inspección visual del tubo de escape del automóvil.
- Poner el motor a una temperatura de funcionamiento como mínimo de 60 grados.
- Conectar el analizador de gases.
- Colocar la sonda de medición del analizador de gases en el tubo de escape.
- En ralentí comprobar los valores de CO.
- Aplicar los valores de referencia declarados por el fabricante del vehículo.
- Registrar los datos de gases de escape CO, HC, CO₂, O₂ y lambda.



Figura 58 Equipos para el análisis de gases

3.5. Prueba de ruta para verificación dinámica con la implantación del sistema.

La prueba consiste, en conducir a velocidad moderada y en condiciones normales para verificar el óptimo funcionamiento del vehículo en ralentí y marcha.

3.5.1 Requisitos para la prueba

- Establecer la ruta para realizar la prueba de verificación dinámica
- Los eventos a evaluar consisten en la revisión del funcionamiento del vehículo y el aumento de potencia debido a los sistemas implementados.
- Comprobación de fugas después de la prueba de ruta.

3.5.2 Consideraciones de la prueba

- Verificar el funcionamiento del vehículo antes de la prueba de ruta.
- Tener un equipo de medición y herramientas automotrices, ante fallas de los sistemas implementados en la verificación dinámica.

3.5.3 Uso de equipos

- Poner a punto el vehículo (Temperatura normal de funcionamiento).
- Ubicar en los equipos de medición y herramientas en el vehículo.
- Comprobación de funcionamiento y posibles fallas de los sistemas implementados.

CAPÍTULO IV

OBTENCIÓN DEL TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo de la investigación se detalla la obtención de la información para su debido análisis, la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI, los procesos de medición en las pruebas realizadas y finalmente las comparaciones y cálculos de los parámetros térmicos y mecánicos del motor Chevrolet Swift G16A.

4.1. Obtención de la información e implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI

La obtención de la información de esta investigación fue por medio de la Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, del centro de información integral de la Escuela Politécnica Nacional, a más de revistas científicas, documentos y sitios de red del campo automotriz, los datos y resultados de las pruebas se realizaron con la ayuda de equipos e instrumentos de laboratorio.

Tabla 6

Obtención de la información

Parámetro	Equipo/Instrumento	Lugar
Torque	Banco de pruebas Dinamómetro LPS 300	Laboratorio del (CCICEV)
Potencia	Banco de pruebas Dinamómetro LPS 300	Laboratorio del (CCICEV)
Consumo de combustible	Equipo de medición de consumo de combustible	Laboratorio del (CCICEV)
Emisiones de gases	Testo MG5	Laboratorio del (CCICEV)

4.1.1 Implementación del cabezote TWIN CAM e inyección GTI

Para la implementación del cabezote TWIN CAM y sistema de inyección GTI en el Chevrolet Swift 1.6, se tomó en cuenta la disposición de la distribución, el cabezote con todos sus componentes y el sistema de inyección.

Los sistemas TWIN CAM y GTI son una versión del motor G13A, cilindrada 1300 cc, que se acopla perfectamente en el motor G16A, con la variación en la relación de compresión, parámetro que se analizó en las curvas de rendimiento con la implementación de los sistemas ya mencionados.

4.1.1.1 Características del fabricante del vehículo Chevrolet Swift 1.6




Figura 59 Vehículo Chevrolet Swift 1.6

Tabla 7

Características de fábrica del vehículo Chevrolet Swift 1.6

Marca	Suzuki
Modelo	Swift
Generación	Swift II (AH,AJ)
Motor	1.6 (92Hp)
Numero de puertas	5
Potencia máxima	92 CV /6500rpm.
Velocidad máxima	195 km/h
Aceleración 0 - 100 km/h	9.5 s
Capacidad depósito	42 litros
Año de la puesta en producción	1990 años
tipo Coupe	Sedan
Numero de plazas	5
Longitud	4075 mm.
Anchura	1600 mm.
Altura	1380 mm.
Distancia entre ejes	2365 mm.
Vía delantera	1365 mm.

CONTINÚA 

Vía trasera	1340 mm.
Distancia al suelo	130 mm.
Capacidad maletero max.	375 l
Posición del motor	Frente, transversalmente
Cilindrada real	1590 cm ³
Par máximo	133 Nm /4400rpm.
Sistema de combustible	Carburador
Distribución	OHC
Construcción de los cilindros	inline
Número cilindros	4
Diámetro del cilindro	75 mm.
Recorrido del cilindro	90 mm.
Ratio de compression	9.5
Número de válvulas por cilindro	4
Combustible	Gasolina
Drive	Frente
Número de engranaje (transmisión manual)	5
Suspensión delantera	Wishbone
Suspensión trasera	Resorte helicoidal
Frenos delanteros	Discos
Frenos traseros	Tambor
Dirección, tipo	Cremallera de dirección
Diámetro giro	10.2 m
Peso máximo admisible	1290 kg.
Tamaño de neumáticos	165/65 R174

Fuente: (Autodata)

4.1.1.2 Implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI

A. Desmontaje del cabezote TWIN CAM motor G16A

Una vez determinado los parámetros térmicos y mecánicos de acuerdo a las diferentes pruebas realizadas en el motor G16A, se avanza con el desmontaje del cabezote, como se aprecia en la figura 60, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Desconectar los bornes y retirar la batería
- Retirar las mangueras de los conductos de refrigerante del radiador hacia el motor.
- Retirar la tapa de válvulas
- Aflojar los pernos del cabezote y múltiple de escape, con la herramienta adecuada.
- Desconectar los cables de conexión del sistema de encendido.
- Retirar el cabezote.



Figura 60 Desmontaje de cabezote motor G16A

B. Montaje de cabezote TWIN CAM

Para facilitar el montaje del cabezote TWIN CAM, se retiró el motor de la carrocería, y el ensamble se realizó en el área de reparación de motores del taller “Servicio Automotriz Acosta”, en la figura 61 se observa el ensamble del cabezote TWIN CAM en el motor G16A, el torque de apriete de los pernos del cabezote según el manual de taller Swift G16A es de 52.5 lb/pie.



Figura 61 Montaje del cabezote TWIN CAM y Sistema GTI

C. Montaje del sistema de inyección GTI

Originalmente el sistema de inyección GTI viene en conjunto con el cabezote TWIN CAM, razón por la que no se realizó ninguna adaptación ni perforación en el múltiple de admisión, debido a que se sustituyó todo el sistema de inyección GTI, al carburador tradicional del motor G16A.



Figura 62 Cabezote TWIN CAM y sistema de inyección GTI.

D. Montaje del motor G16A en la carrocería

Para el montaje se utiliza un elevador hidráulico (pluma), asegurado al motor por medio de un cabo, luego se desplaza el motor del laboratorio de reparación hacia la ubicación del vehículo y se coloca el motor en la carrocería como se observa en la figura 57.



Figura 63 Montaje del cabezote TWIN CAM y GTI

E. Implementación de la ECU (Unidad de control electrónico)

La unidad de control electrónico incorporado en el sistema de inyección GTI, es la ECU de serie F5-01905, la principal diferencia de sus versiones anteriores F1, F2, F3 es, que no posee el sensor de oxígeno.

El pin data de la ECU se observa en la figura 64 con la que se puede realizar una instalación del conjunto del arnés electrónico.

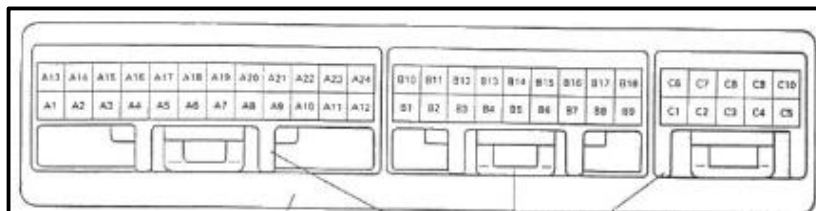


Figura 64 Conjunto de arnés ECU Hitachi-F5

Fuente: (Román, 1990)

En la figura 65 se observa el diagrama del sistema de inyección electrónica de combustible GTI implementado en el Chevrolet Swift 1.6.

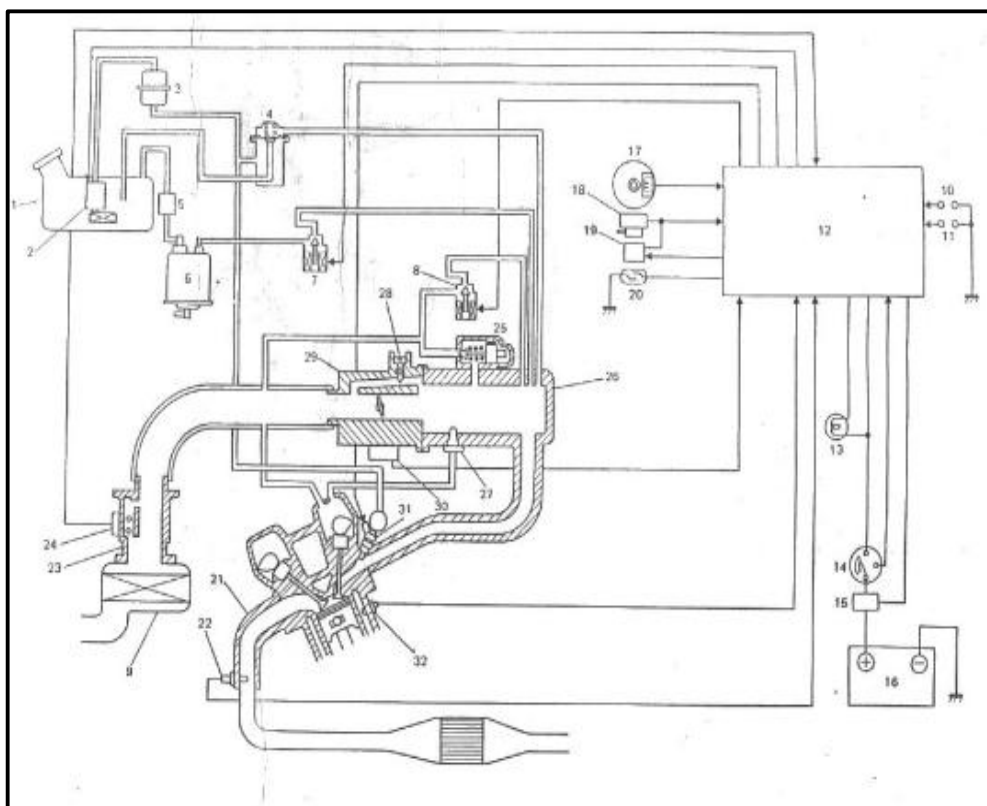


Figura 65 Instalación del sistema de inyección electrónica

Fuente: (Román, 1990)

Descripción de los componentes del sistema de inyección electrónica

1. Depósito de combustible
2. Bomba de combustible
3. Filtro de combustible
4. Regulador de presión de combustible
5. Válvula de retención
6. Canasto de carbón
7. Válvula VSV
8. Válvula solenoide ISC
9. Filtro de aire
10. Terminal del interruptor de diagnóstico
11. Interruptor de prueba
12. Módulo de control electrónico (ECM)
13. Luz de revisión del motor
14. Interruptor principal
15. Fusible principal
16. Batería
17. Sensor de posición del árbol de levas (CAS)
18. Bobina de encendido
19. Unidad motriz
20. Sensor de velocidad
21. Múltiple de escape
22. Sensor de oxígeno
23. Medidor de flujo de aire (AFM)
24. Adicionador de flujo de aire (AFS)
25. Válvula de aire
26. Múltiple de admisión
27. Válvula PCV
28. Tornillo de regulación de la velocidad de ralentí
29. Conjunto del acelerador
30. Sensor de posición del acelerador (TPS)
31. Inyector de combustible
32. Sensor de temperatura de agua (WTS)

4.2. Curvas características sin la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

En la figura 66 se observa las curvas obtenidas en el dinamómetro de rodillos: Potencia normal, potencia a la rueda, potencia motor y potencia de arrastre

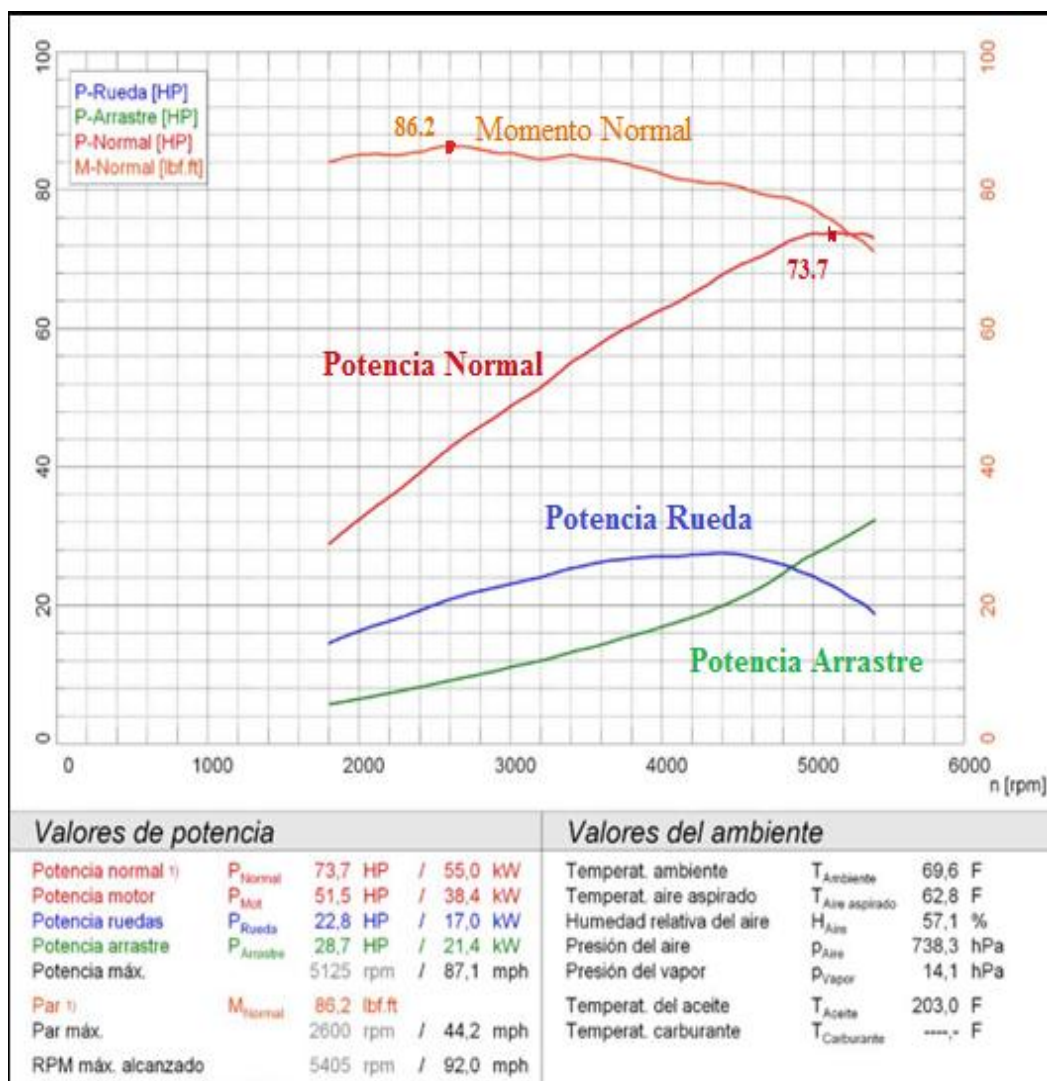


Figura 66 Curvas obtenidas mediante la prueba de potencia sin la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

4.2.1 Datos y registro de la información

Tabla 8

Características generales del motor G16A

Datos generales del vehículo		
Marca	Chevrolet	
Modelo	Swift	
Placa N°	PLE0802	
Motor	G16A821351	
Motor	Posición	Delantero transversal
	Cilindrara N Cilindro	1600
Datos del Fabricante	Max. Potencia (HP- Rpm)	90,7 HP@ 6000 rpm
	Max. Torque (N.m - rpm)	133,3 N. @ 2500-3000rpm
	Combustible	Gasolina
Transmisión		Manual (5A + 1R)
(Manual/automática)		
Neumáticos	GOOD YEAR, 175/70/R12,300Kpa	

Fuente: (Ficha técnica Chevrolet Swift)

Tabla 9

Registro de valores obtenidos de torque y potencia

Prueba de torque y potencia						
	Potencia			Torque		
	Kw	Hp	Rpm	N.m	lbf.ft	Rpm
Prueba 1	55	73,7	5100	116,9	86,2	2600
Prueba 2	54,3	72,8	5055	117,5	86,7	2745
Prueba 3	54,8	73,4	5150	117,7	86,8	2705

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

Tabla 10

Datos (P. a la rueda, P. del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema inglés (HP), lbf.ft)

n	v	P. rueda	P. motor	P. normal	M. normal
Rpm	Mph	(HP)	(HP)	(HP)	lbf.ft
1900	32,3	15,5	21,2	30,5	84,3
2000	34	16,4	22,5	32,3	84,8
2100	35,7	17,1	23,7	34	85
2200	37,4	17,9	24,9	35,7	85,3
2300	39,1	18,7	26	37,4	85,4
2400	40,8	19,6	27,4	39,3	86
2500	42,5	20,4	28,6	41,1	86,3
2600	44,2	21,3	29,8	42,9	86,6
2700	45,9	22	31,1	44,6	86,8
2800	47,6	22,6	32	46	86,3
2900	49,3	22,9	32,8	47,2	85,5
3000	51	23,1	33,6	48,2	84,4
3100	52,7	23,6	34,6	49,7	84,2
3200	54,4	24,3	35,7	51,2	84,1
3300	56,1	25	36,9	53	84,4
3400	57,8	25,7	38,1	54,7	84,5
3500	59,5	26,1	39,1	56,1	84,2
3600	61,2	26,5	40,1	57,6	84
3700	62,9	26,7	40,9	58,8	83,5
3800	64,6	27,1	42	60,3	83,3
3900	66,3	27,5	43	61,8	83,2
4000	68	27,8	44	63,2	83
4100	69,7	27,9	44,8	64,4	82,5
4200	71,4	28,2	45,8	65,8	82,3
4300	73,1	28,3	46,6	67	81,8
4400	74,8	28,4	47,6	68,4	81,7

CONTINÚA 

4500	76,5	28,2	48,4	69,6	81,2
4600	78,2	27,8	49,2	70,6	80,6
4700	79,9	27,4	50,2	72	80,5
4800	81,6	26,7	50,7	72,8	79,7
4900	83,3	25,7	50,7	72,9	78,1
5000	85	24,8	50,9	73,1	76,8
5100	86,7	23,8	51	73,4	75,5

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

Tabla 11

Datos (P. a la rueda, P. del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema internacional (Kw), N.m)

n	v	P. rueda	P. motor	P. normal	M. normal
Rpm	km/h	Kw	Kw	Kw	N.m
1900	51,98	11,56	15,82	22,75	114,29
2000	54,72	12,23	16,79	24,10	114,97
2100	57,46	12,76	17,68	25,36	115,24
2200	60,19	13,35	18,58	26,63	115,65
2300	62,93	13,95	19,40	27,90	115,79
2400	65,66	14,62	20,44	29,32	116,60
2500	68,40	15,22	21,34	30,66	117,01
2600	71,14	15,89	22,23	32,00	117,41
2700	73,87	16,41	23,20	33,27	117,68
2800	76,61	16,86	23,87	34,32	117,01
2900	79,34	17,08	24,47	35,21	115,92
3000	82,08	17,23	25,07	35,96	114,43
3100	84,81	17,61	25,81	37,08	114,16
3200	87,55	18,13	26,63	38,20	114,02
3300	90,29	18,65	27,53	39,54	114,43
3400	93,02	19,17	28,42	40,81	114,57
3500	95,76	19,47	29,17	41,85	114,16
3600	98,49	19,77	29,91	42,97	113,89

CONTINÚA 

3700	101,23	19,92	30,51	43,86	113,21
3800	103,97	20,22	31,33	44,98	112,94
3900	106,70	20,52	32,08	46,10	112,80
4000	109,44	20,74	32,82	47,15	112,53
4200	114,91	21,04	34,17	49,09	111,58
4300	117,65	21,11	34,76	49,98	110,90
4400	120,38	21,19	35,51	51,03	110,77
4500	123,12	21,04	36,11	51,92	110,09
4600	125,85	20,74	36,70	52,67	109,28
4800	131,33	19,92	37,82	54,31	108,06
4900	134,06	19,17	37,82	54,38	105,89
5000	136,80	18,50	37,97	54,53	104,13
5100	139,53	17,75	38,05	54,76	102,36

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

4.2.2 Cálculos y tratamiento de la información

Para el cálculo de potencia y torque se tomó las condiciones atmosféricas de la ciudad de Quito, los datos del motor G16A y valores de interpolación con una variación del resultado en un 5%.

Tabla 12

Datos del motor Swift

Datos motor G16A			
Revoluciones	N	5550	Rpm
Cilindrada total	VH	1590	cm^3
Carrera	S	0.090	m^3
Longitud de biela	L	-	m
Diámetro del pistón	D	0.075	m
Numero de cilindros	I	4	
Relación de compresión	ε	9.5	:1

Fuente: (Swift, 1992)

Tabla 13**Valores de interpolación**

Datos a interpolar			
Altura	2750	3000	Msnm
Densidad del aire	1.205	1.679	$\frac{kg}{m^3}$
Posición del pistón	0	180	°
Presión residual	0.11	0.125	MPa
Temperatura en el sistema	0	20	°C
Temperatura de gases residuales	500	600	°C
Temperatura máxima del ciclo	1800	2000	°C
Constante politrópica	1.30	1.37	
Coeficiente (Amortiguación más Resistencia) sistema de admisión $(\beta^2 + \xi_{ad})$	2.5	4	
Exponente politrópico	1.23	1.30	

Fuente: (Jovaj, M., 1982) y (Mena, L., 2011)

La velocidad angular del cigüeñal se calcula de acuerdo a la ecuación 32

$$\omega = 2\pi n \text{ (r.p.s)}$$

Ecuación (32) Velocidad angular

$$\omega = 2\pi 6000 / 60$$

$$\omega = 628.32 \text{ rps}$$

La velocidad máxima del pistón se obtiene de acuerdo a la ecuación 33.

$$C_{p \max} = 1.63(2Sn)$$

Ecuación (33) Velocidad máxima del pistón

$$C_{p \max} = 1.63(2 * 0.090 * (6000/60))$$

$$C_{p \max} = 29.7 \frac{m}{seg}$$

Cálculo de la velocidad de movimiento en la sección del paso de la válvula mediante la ecuación 34.

$$W_{ad} = \frac{C_{p\ max} * F_p}{f_{ad}}$$

Ecuación (34) Velocidad de sección de la válvula

$$W_{ad} = 171.53 \frac{m}{seg}$$

Cálculo de parámetros del ciclo de funcionamiento

Presión al final de admisión (MPa), cálculo mediante la ecuación 13, $((\beta^2 + \xi_{ad})=3.7$ y $P_o= 0.1$ valor experimental)

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi_{ad}) * \frac{W_{ad}^2}{2} * \rho_o \text{ (MPa)}$$

$$P_a = 0.0228 \text{ (MPa)}$$

Coefficiente de gases residuales mediante la ecuación 11

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} * \frac{P_r}{\varepsilon * P_a - P_r}$$

$$\gamma_r = \frac{288 + 15}{873} * \frac{0.125}{9.5 * 0.0228 - 0.125}$$

$$\gamma_r = 0.4738$$

Temperatura al final de admisión T_a , ecuación 12.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_r * T_r}{1 + Y_r} \text{ (}^\circ\text{K)}$$

$$T_a = \frac{288 + 15 + 0.4738 * 873}{1 + 0.4738} \text{ (}^\circ\text{K)}$$

$$T_a = 486.24 \text{ (}^\circ\text{K)}$$

Presión al final de compresión P_c , ecuación 14

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}$$

$$P_c = 0.0228 * 9.5^{1.34}$$

$$P_c = 0.46 \text{ Mpa}$$

Temperatura al final de compresión T_c , ecuación 5

$$T_c = (T_a * \varepsilon^{n_1-1}) (\text{°K})$$

$$T_c = (486.24 * 9.5^{1.34-1}) (\text{°K})$$

$$T_c = 1045 (\text{°K})$$

Presión máxima del ciclo P_z , ecuación 16

$$P_z = \beta * P_c * \frac{T_z}{T_c} (\text{MPa})$$

$$P_z = 1.06 * 0.4656 * \frac{2073}{1045} (\text{MPa})$$

$$P_z = 0.9787 (\text{MPa})$$

Presión máxima real P_{z1} , ecuación 17

$$P_{z1} = 0.85 * P_z$$

$$P_{z1} = 0.832 (\text{MPa})$$

Presión final de expansión, ecuación 19

$$P_b = P_z * \frac{1}{\varepsilon^{n_2}} (\text{MPa})$$

$$P_b = 0.9787 * \frac{1}{9.5^{1.24}} (\text{MPa})$$

$$Pb = 0.051(MPa)$$

Temperatura final de expansión, ecuación 20

$$Tb = 2073 * \frac{1}{9.5^{1.24-1}} \text{ (}^\circ K\text{)}$$

$$Tb = 1207.6 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

(Según Jovaj, M. 1982) la fuerza máxima generada en el ciclo de trabajo resulta de multiplicar la presión máxima del ciclo $Pz1$ por el área de la cara del pistón, ecuación 35.

$$Fmax = Pz1 * Acp \text{ (N)}$$

Ecuación (35) Fuerza máxima

$$Fmax = 1003.69 \text{ (N)}$$

Ahora se calcula el torque y la potencia mediante las ecuaciones 36-37: Torque (τ), producto de la fuerza máxima del ciclo por el radio de giro del cigüeñal, ecuación 36.

$$\tau = Fmax * S/2 \text{ (N.m)}$$

Ecuación (36) Torque

$$\tau = 90.33 \text{ (N.m)}$$

Potencia (P), producto del Torque por la velocidad angular, ecuación 37

$$P = \tau * \omega \text{ (Kw)}$$

Ecuación (37) Potencia normal

$$P = 90.33 * 171.53 \text{ (Kw)}$$

$$P = 56.76 \text{ (Kw)}$$

4.3. Curvas características con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

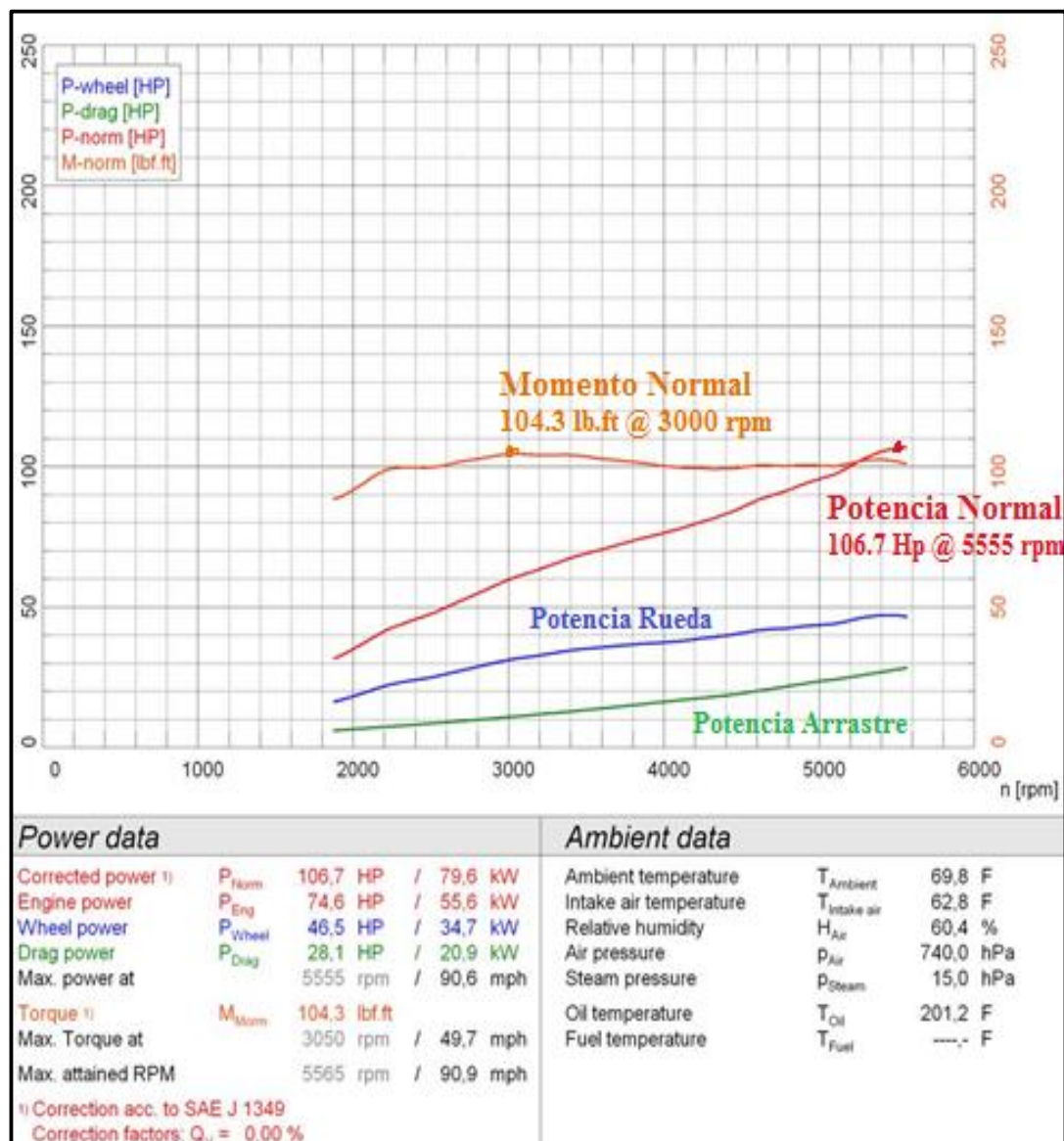


Figura 67 Curvas obtenidas mediante la prueba de potencia con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)


4.3.1 Datos y registro de la información

A continuación se detalla los valores obtenidos en la prueba de torque y potencia

Tabla 14

Datos (P. a la rueda, P del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema inglés (HP), lbf.ft)

n	v	P. rueda	P. motor	P. normal	M. normal
Rpm	Mph	(HP)	(HP)	(HP)	lbf.ft
1900	31	16,5	22,4	32,1	88,6
2000	32,6	18	24,4	34,9	91,5
2100	34,3	19,9	26,6	38	95,1
2200	35,9	21,7	28,8	41,2	98,3
2300	37,5	22,9	30,4	43,5	99,4
2500	40,8	24,7	33,1	47,3	99,5
2600	42,4	26	34,7	49,7	100,4
2700	44,1	27,3	36,5	52,5	101,6
2800	45,7	28,5	38,1	54,6	102,4
2900	47,3	29,8	39,9	57,1	103,5
3000	49	31	41,6	59,5	104,2
3100	50,6	31,8	42,9	61,5	104,1
3400	55,5	34,4	47	67,3	103,9
3500	57,1	34,9	48,1	68,9	103,3
3600	58,8	35,4	49,1	70,3	102,5
3700	60,4	35,9	50,2	71,8	102
3800	62	36,4	51,3	73,4	101,4
3900	63,6	36,8	52,3	74,8	100,7
4000	65,3	37,2	53,2	76,1	100
4100	66,9	37,6	54,3	77,7	99,5
4200	68,5	38,3	55,5	79,4	99,3
4300	70,2	38,9	56,6	81	99
4500	73,4	40,5	59,6	85,2	99,5
4600	75,1	41,4	61,4	87,8	100,2
4800	78,3	42,3	63,9	91,4	100
5000	81,6	43,3	66,7	95,3	100,2
5100	83,2	43,8	67,8	97	99,9

CONTINÚA 


5200	84,9	45	69,9	99,9	100,9
5300	86,5	46,2	71,9	102,9	102
5400	88,1	46,9	73,5	105,1	102,3
5500	89,8	46,8	74,3	106,3	101,5

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

Tabla 15

Datos (P. a la rueda, P. del motor, P. normal y Torque) a diferentes rpm del motor (Sistema internacional (Kw), N.m)

n	v	P. rueda	P. motor	P. normal	M. normal
Rpm	km/h	Kw	Kw	Kw	N.m
1900	49,89	12,31	16,71	23,95	120,12
2000	52,47	13,43	18,20	26,04	124,06
2100	55,20	14,85	19,84	28,35	128,94
2200	57,78	16,19	21,48	30,74	133,28
2300	60,35	17,08	22,68	32,45	134,77
2500	65,66	18,43	24,69	35,29	134,90
2600	68,24	19,40	25,89	37,08	136,12
2700	70,97	20,37	27,23	39,17	137,75
2800	73,55	21,26	28,42	40,73	138,83
2900	76,12	22,23	29,77	42,60	140,33
3000	78,86	23,13	31,03	44,39	141,27
3100	81,44	23,72	32,00	45,88	141,14
3200	84,01	24,32	32,97	47,22	140,87
3300	86,75	24,99	34,02	48,64	140,73
3400	89,32	25,66	35,06	50,21	140,87
3500	91,90	26,04	35,88	51,40	140,05
3600	94,63	26,41	36,63	52,44	138,97
3700	97,21	26,78	37,45	53,56	138,29
3800	99,78	27,15	38,27	54,76	137,48
3900	102,36	27,45	39,02	55,80	136,53
4000	105,09	27,75	39,69	56,77	135,58

CONTINÚA 

4100	107,67	28,05	40,51	57,96	134,90
4200	110,24	28,57	41,40	59,23	134,63
4300	112,98	29,02	42,22	60,43	134,22
4500	118,13	30,21	44,46	63,56	134,90
4700	123,44	31,26	46,77	66,84	135,85
4800	126,02	31,56	47,67	68,18	135,58
5000	131,33	32,30	49,76	71,09	135,85
5100	133,90	32,67	50,58	72,36	135,44
5200	136,64	33,57	52,15	74,53	136,80
5300	139,21	34,47	53,64	76,76	138,29
5400	141,79	34,99	54,83	78,40	138,70
5500	144,52	34,91	55,43	79,30	137,61

Fuente: Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares (CCICEV)

4.3.2 Cálculos y tratamiento de la información

Para el cálculo de potencia y torque se tomó las condiciones atmosféricas de la ciudad de Quito, los datos del motor G16A, con la variación de la relación de compresión (ver Tabla 16).

Tabla 16

Datos del motor Swift

Datos motor G16A			
Revoluciones	N	5550	Rpm
Cilindrada total	VH	1590	cm ³
Carrera	S	0.090	m ³
Longitud de Biela	L	-	m
Diámetro del Pistón	D	0.0755	m
Numero de Cilindros	I	4	
Relación de Compresión	ε	10	:1

La velocidad angular del cigüeñal se calcula de acuerdo a la ecuación 32

$$\omega = 2\pi n \text{ (r.p.s)}$$

$$\omega = 2\pi 5550 / 60$$

$$\omega = 581.19 \text{ rps}$$

La velocidad máxima del pistón se obtiene mediante la ecuación 33.

$$C_{p \max} = 1.63(2Sn)$$

$$C_{p \max} = 27.47 \frac{m}{seg}$$

Cálculo de la velocidad de movimiento en la sección del paso de la válvula mediante la ecuación 34.

$$W_{ad} = \frac{C_{p \max} * Fp}{f_{ad}}$$

$$W_{ad} = 158.67 \frac{m}{seg}$$

Cálculo de parámetros del ciclo de funcionamiento

Presión al final de admisión (MPa) se calculó mediante la ecuación 13, $((\beta^2 + \xi_{ad})=3.75$ y $Po=0.1$) (valor experimental)

$$Pa = Po - (\beta^2 + \xi_{ad}) * \frac{W_{ad}^2}{2} * \rho_o \text{ (MPa)}$$

$$Pa = 0.0295 \text{ (MPa)}$$

Coefficiente de gases residuales mediante la ecuación 11

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} * \frac{Pr}{\varepsilon * Pa - Pr}$$

$$\gamma_r = 0.256$$

Temperatura al final de admisión T_a , ecuación 12.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + Y_r * T_r}{1 + Y_r} \text{ (}^\circ\text{K)}$$

$$T_a = 420.8 \text{ (}^\circ\text{K)}$$

Presión al final de compresión P_c , ecuación 14

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}$$

$$P_c = 0.646 \text{ Mpa}$$

Temperatura al final de compresión T_c , ecuación 15

$$T_c = (T_a * \varepsilon^{n_1-1}) (\text{°K})$$

$$T_c = 920 (\text{°K})$$

Presión máxima del ciclo P_z , ecuación 16

$$P_z = \beta * P_c * \frac{T_z}{T_c} (\text{MPa})$$

$$P_z = 1.54(\text{MPa})$$

Presión máxima real P_{z1} , ecuación 17

$$P_{z1} = 0.85 * P_z$$

$$P_{z1} = 1.311 (\text{MPa})$$

Presión final de expansión, ecuación 19

$$P_b = P_z * \frac{1}{\varepsilon^{n_2}} (\text{MPa})$$

$$P_b = 0.075 (\text{MPa})$$

Temperatura final de expansión, ecuación 20

$$T_b = 2073 * \frac{1}{9.5^{1.24-1}} (\text{°K})$$

$$T_b = 1192.86 (\text{°K})$$

(Según Jovaj, M. 1982) la fuerza máxima generada en el ciclo de trabajo resulta de multiplicar la presión máxima del ciclo P_{z1} por el área de la cara del pistón, ecuación 35.

$$F_{max} = P_{z1} * A_{cp} (\text{N})$$

$$F_{max} = 1581.6 (\text{N})$$

Calculo: Torque y la potencia mediante las ecuaciones 36-37

Torque (τ), Producto de la fuerza máxima del ciclo por el radio de giro del cigüeñal, ecuación 36.

$$\tau = F_{max} * S/2 (N.m)$$

$$\tau = 142.34 (N.m)$$

Potencia (P), producto del torque por la velocidad angular, ecuación 37

$$P = \tau * \omega (Kw)$$

$$P = 82.73 (Kw)$$

4.4. Análisis de parámetros característicos

A continuación se realiza una comparación de los parámetros característicos, de acuerdo los valores obtenidos en la pruebas de torque y potencia, además los valores calculados de los mismos.

4.4.1 Análisis comparativo entre curvas de rendimiento

A. Curvas de torque

En la figura 68 se puede observar el aumento de torque con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

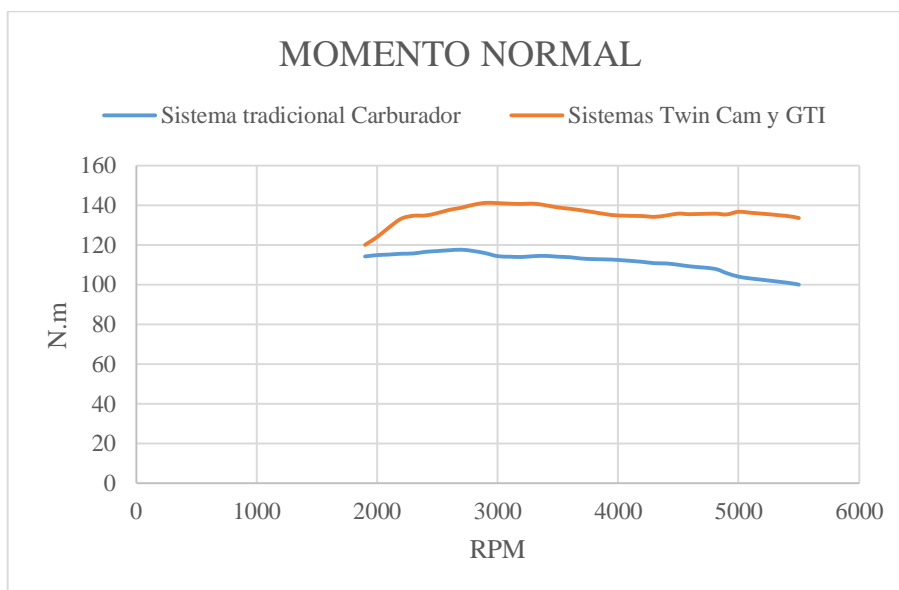


Figura 68 Comparación de curvas de momento normal

El torque obtenido en la prueba con el sistema estándar del vehículo, es inferior a los datos del fabricante en un 12 %, esto se debe al desgaste por fricción de los elementos móviles del motor. Al implementar los sistemas TWIN CAM y GTI, se obtuvo un aumento del 21.45 %. Como se observa en la figura 69 y tabla 17.

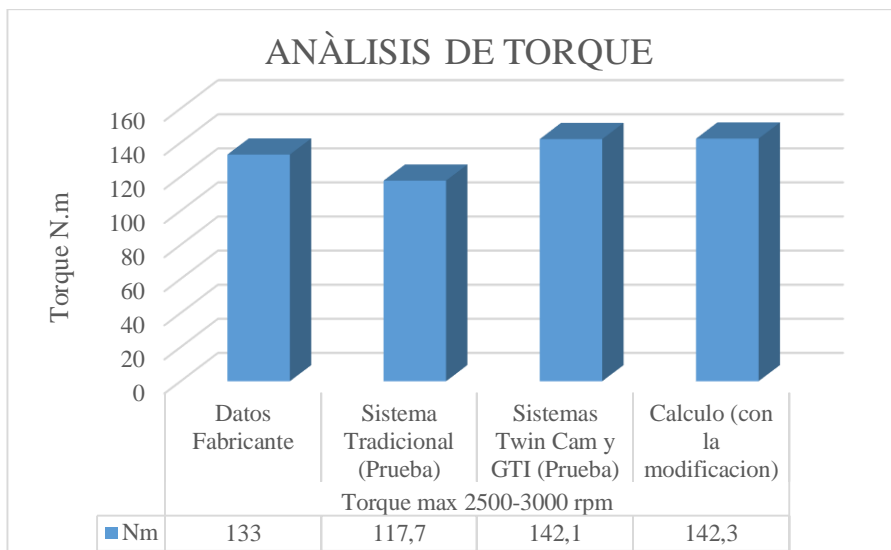


Figura 69 Comparación antes y después de la implementación de los sistemas

Tabla 17

Variación del torque con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI

Prueba antes (Kw)	Prueba después (Kw)	Variación (%)
117 @ 2750 rpm	142,1 @ 3000 rpm	21,45

B. Curvas de potencia

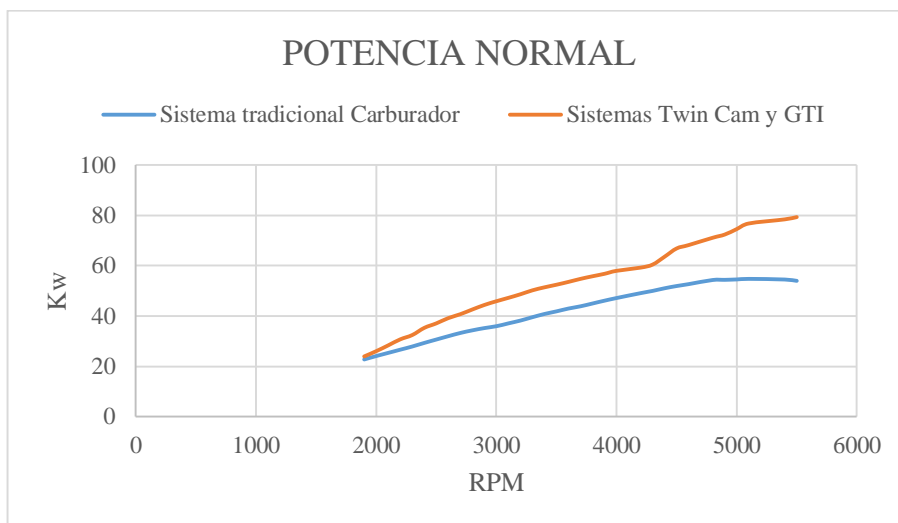


Figura 70 Variación de la potencia normal

En la figura 70 se observa el aumento de la potencia normal de 55 kW a 79 kW a 5500 rpm, con una variación del 43 %. Potencia reflejada en carretera.

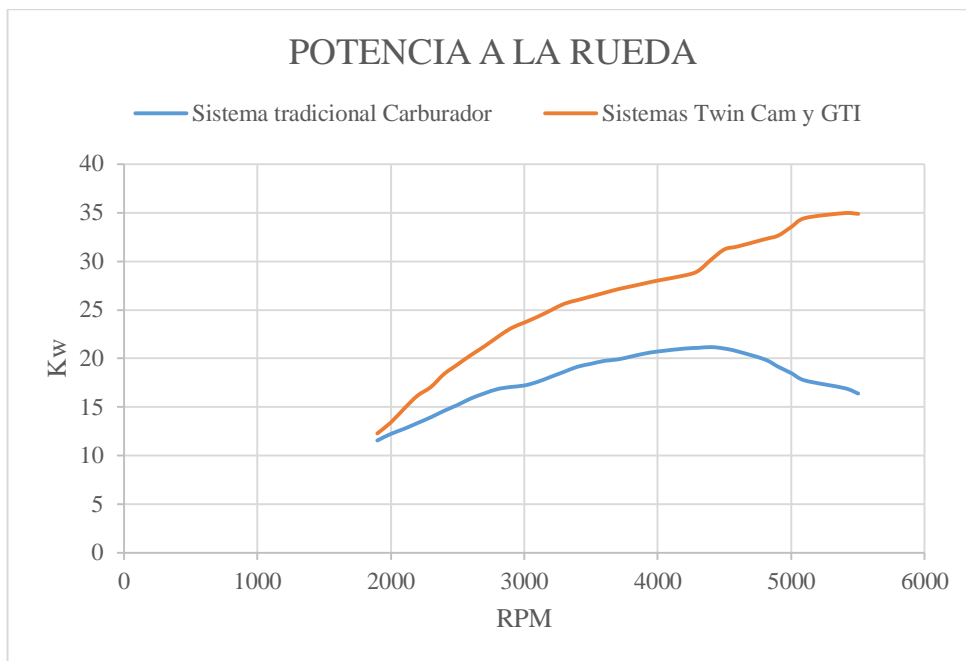


Figura 71 Variación de la potencia a la rueda

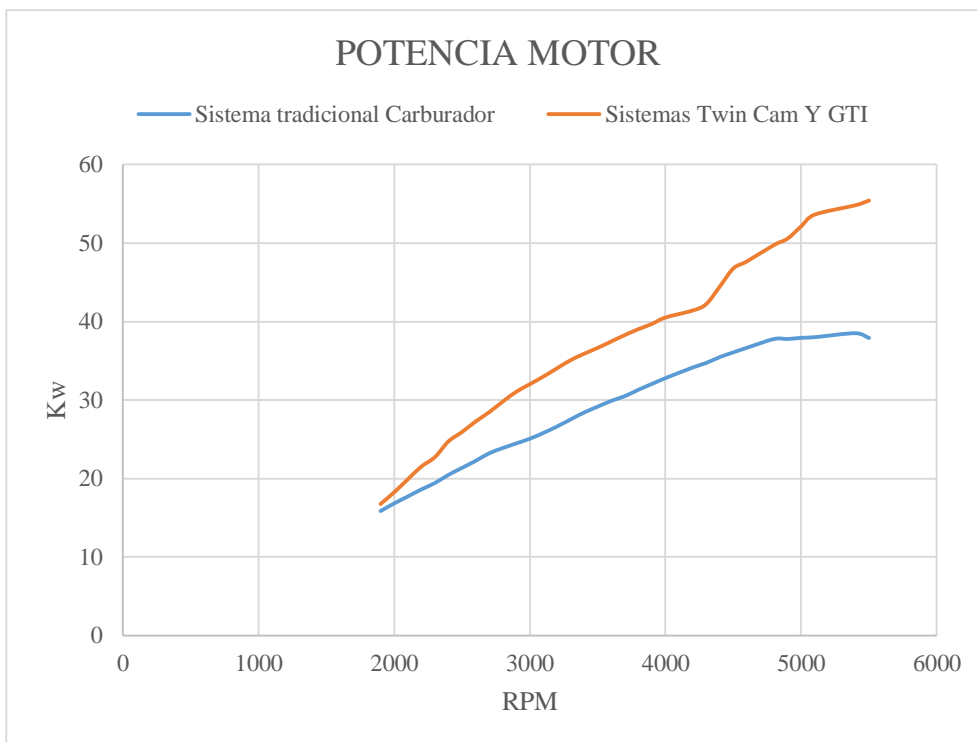


Figura 72 Variación de potencia motor

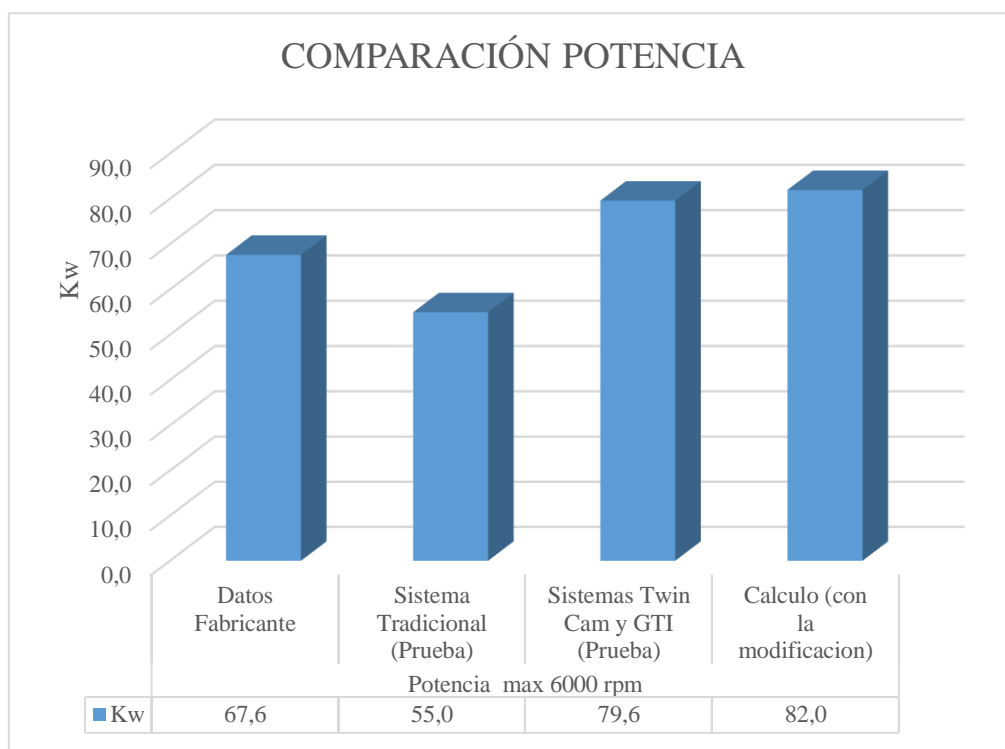


Figura 73 Análisis de potencia

Tabla 18

Potencia con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI

Prueba antes (Kw)	Prueba después (Kw)	Variación (%)
55 @ 5550 rpm	79 @ 5550 rpm	44,7

4.4.2 Análisis comparativo de consumo de combustible

Para el análisis de consumo de combustible se incorporó un equipo de medición de nivel de combustible con capacidad de 5 litros, el equipo incorpora un medidor de presión del fluido, un sistema de bombeo regulable de 0 hasta 20 Bares y dos conductos de entrada y retorno del combustible.

La prueba se la realizo en base a la norma Europea de ciclo de ruta y mediante el equipo de pruebas para la medición de consumo de combustible, teniendo como resultados de consumo los expresados en las tablas (19 y 20).

Tabla 19

Resultados de consumo de combustible sin la implementación de los sistemas.

CONSUMO DE COMBUSIBLE			
Hora Inicio	11:00 horas	Hora Final	11:30 horas
Altura Inicio (CCICEV)	2800 msnm (metros sobre el nivel del mar)		
	Muestra de Combustible (ltr)		Distancia (Km)
	Inicio	Final	Total
	5	3,82	11,046
			2.36
Gasto de combustible	1.18		
Rendimiento Total (Km/Gal)	35.44		

Fuente: (CCICEV)

Tabla 20

Resultados de consumo de combustible con la implementación de los sistemas.

Consumo de combustible			
Hora Inicio	11:00 horas	Hora Final	11:30 horas
Altura Inicio (CCICEV)	2800 msnm (metros sobre el nivel del mar)		
	Muestra de combustible (ltr)		Distancia (Km)
	Inicio	Final	Total
	5	4,12	11,046
			1.76
Gasto de combustible	0.88		
Rendimiento total (Km/Gal)	47,52		

Fuente: (CCICEV)

Tuvo una disminución de 0.3 litros de consumo de combustible al implementar los sistemas TWIN CAM y GTI y un aumento en rendimiento de 12.08 kilómetros por cada galón, como se observa en la figura 74.

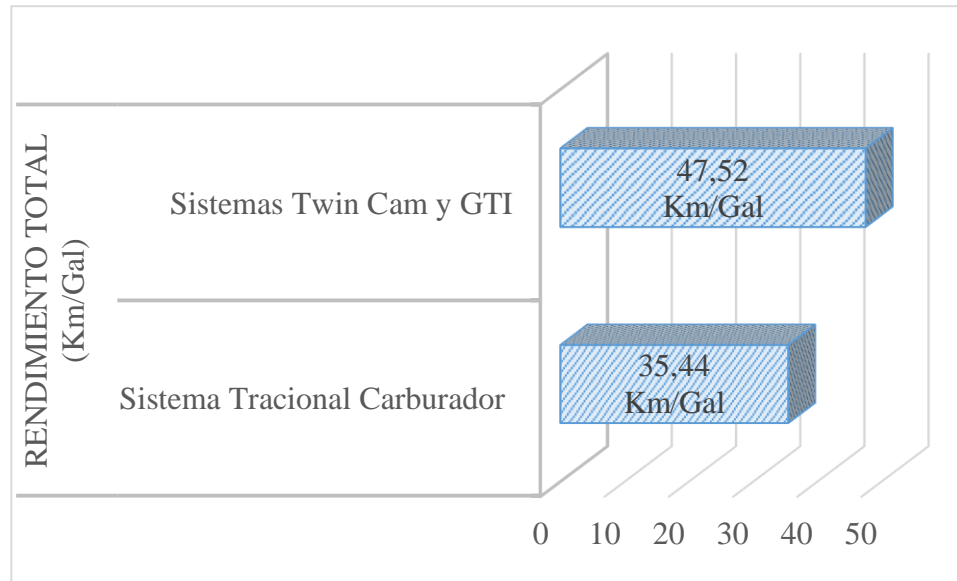


Figura 74 Comparación de rendimiento

4.4.2.1 Cálculo gasto específico de combustible

Se utilizó los datos del motor (ver tabla 12) y el valor de consumo en litros por hora (ver tabla 18)

El volumen del cilindro se obtuvo a partir de la ecuación 21

$$Vh = \frac{\pi D^2 * S}{4} (m^3)$$

$$Vh = 0.0003976 (m^3)$$

Para determinar la presión media indicada real se emplea la ecuación 26.

$$p_{inr} = Pa * \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]$$

$$p_{inr} = 0.0207 * \frac{10^{1.34}}{10 - 1} \left[\frac{2.028}{1.24 - 1} \left(1 - \frac{1}{10^{0.24}} \right) - \frac{1}{1.34 - 1} \left(1 - \frac{1}{10^{0.34}} \right) \right]$$

$$p_{inr} = 0.858 MPa$$

La presión media indicada se obtiene mediante la ecuación 27

$$p_i = 0.97 * p_{inr} (MPa)$$

$$p_i = 0.7224 (MPa)$$

Calculo la presión media efectiva

$$pe = n_m * p_i \text{ (MPa)}$$

$$pe = 0.7224 \text{ (MPa)}$$

Calculo de la potencia efectiva

$$Ne = \frac{2pe.Vh.n.i}{1000\tau} \text{ (Kw)}$$

$$Ne = \frac{2 * 0.7224 * 0.0003976 * 6000 * 4 * (10^6)}{1000 * (4)} \text{ (W)}$$

$$Ne = 58.39 \text{ KW}$$

Consumo de combustible teórico, mediante la ecuación 38.

$$B = \text{Consumo de combustible} * \text{Densidad de gasolina}$$

Ecuación (38) Consumo de combustible teórico

$$B = \frac{1.6 \text{ litros}}{h} * 0.680 \frac{\text{kg}}{\text{litros}}$$

$$B = 1.088 \frac{\text{kg}}{h} = 3.022 * 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

Gasto específico efectivo de combustible, mediante la ecuación 39

$$be = B * \frac{3600}{Ne}$$

Ecuación (39) Gasto específico de combustible

$$be = 0.01863 \frac{\text{kg}}{\text{KW.h}}$$

Consumo de combustible, cálculo mediante la ecuación 40.

$$C.cal = be * Ne = 1.088 \frac{\text{kg}}{h}$$

Ecuación (40) Consumo de combustible

4.5. Concentraciones de gases sin la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

La medición de gases se realizó de acuerdo a la norma INEN 2204, con la modificación establecida el 6 de diciembre del 2016, de acuerdo al “**CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES**” RTE INEN 017.



Figura 75 Prueba analizador de gases

4.5.1 Datos y registro de la información

En la tabla 21 se muestra los datos y registro de las pruebas realizadas en el analizador de gases, según la norma NTE INEN 2204.

Tabla 21

Pruebas estáticas NTE INEN 2204 sin la implementación de los sistemas

Parámetros	Resultados del analizador de gases					
	PRUEBAS ESTATICAS - NTE INEN 2204					
	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	
CO (%V)	6,2	2,4	6,62	1,97	6,5	1,95
CO2 (%V)	9,6	13,15	9,4	13,97	9,4	13,49
COcorr(%V)	6,2	2,37	6,62	1,97	6,5	1,95
HC (ppm)	487	222	489	246	496	212
O2 (%V)	3,04	1,97	2,99	1,97	2,98	1,87
Lambda	0,933	1,026	0,919	1,038	0,947	1,031
RPM	1100	2500	1100	2500	1000	2500

Fuente: (CCICEV)

4.5.2 Tratamiento de la información

Según la información obtenida en las pruebas estáticas de la Norma NTE INEN 2204, se determinó que existe un nivel de contaminación alto al medio ambiente como se aprecia en la tabla 22 y figura 76.

Tabla 22

Parámetros de emisiones contaminantes de prueba estática (ralentí)

Medición		
Parámetros	Ralentí (1100 Rpm)	rpm alta (2500 Rpm)
CO (%V)	6,2	2,4
CO ₂ (%V)	9,6	13,15
COcorr(%V)	6,2	2,37
HC (ppm)	487	222
O ₂ (%V)	3,04	1,97
Lambda	0,933	1,026

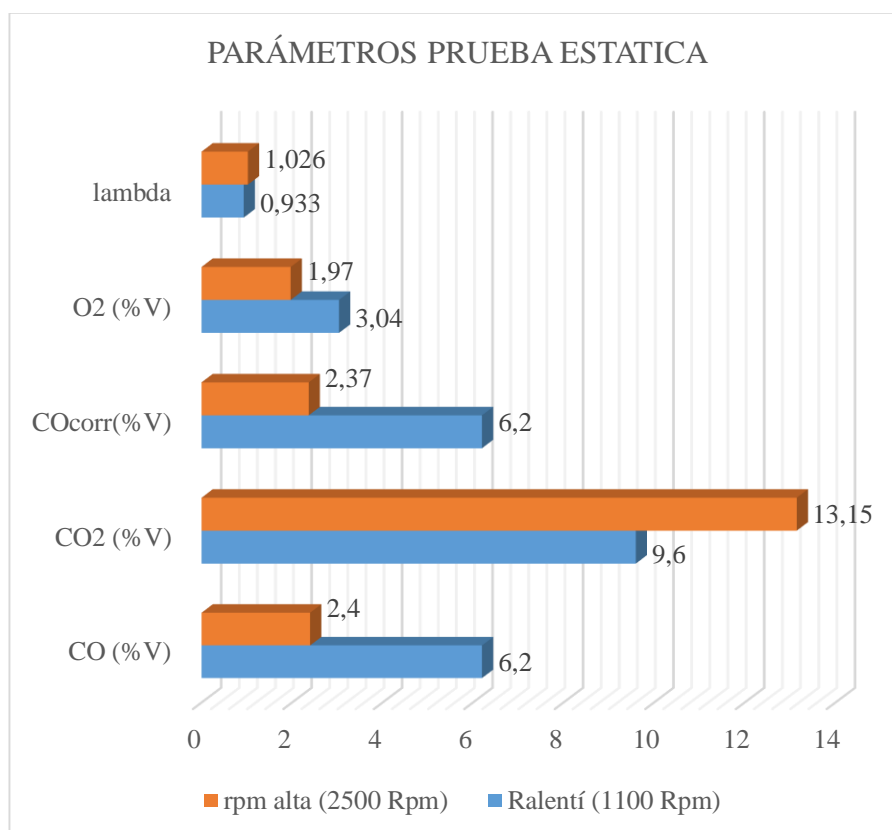


Figura 76 Emisiones contaminantes

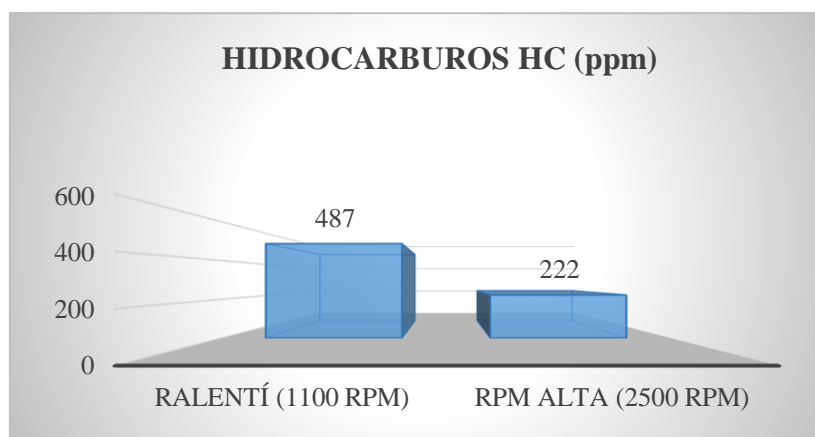


Figura 77 Hidrocarburos sin la implementación de los sistemas

4.6. Concentraciones de gases con la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI.

Con la implementación de los sistemas, la concentración de gases contaminantes emanados por los vehículos, disminuyó en un porcentaje considerable, el cual será detallado en el análisis de las pruebas realizadas. De acuerdo a la última norma vigente INEN 017.

4.6.1 Datos y registro de la información

Tabla 23

Pruebas estáticas –NTE INEN 2204 con la implementación de los sistemas

Parámetros	Resultados del Analizador de gases					
	PRUEBAS ESTATICAS - NTE INEN 2204					
	Medición 1		Medición 2		Medición 3	
	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta	Ralentí	rpm alta
CO (%V)	3,65	2,37	3,54	2,26	3,6	2,23
CO2 (%V)	12,4	12,8	12,4	12,9	12,4	12,8
COcorr(%V)	3,65	2,3	3,54	2,26	3,6	2,23
HC (ppm)	366	216	444	241	447	267
O2 (%V)	1,18	1,66	1,48	1,97	1,51	2,07
Lambda	0,93	0,998	0,948	1,015	0,948	1,019
RPM	1100	2500	1100	2500	1100	2500

Fuente: (CCICEV)

4.6.2 Tratamiento de la información

Las pruebas estáticas según la norma NTE INEN 2204, con un factor de corrección de la norma vigente en el país.

Tabla 24

Parámetros de emisiones contaminantes de prueba estática (ralentí)

Parámetros	Medición	
	Ralentí (1000 rpm)	rpm alta (2500)
CO (%V)	3,65	2,37
CO ₂ (%V)	12,4	12,8
COcorr(%V)	3,65	2,3
HC (ppm)	366	216
O ₂ (%V)	1,18	1,66
Lambda	0,93	0,998

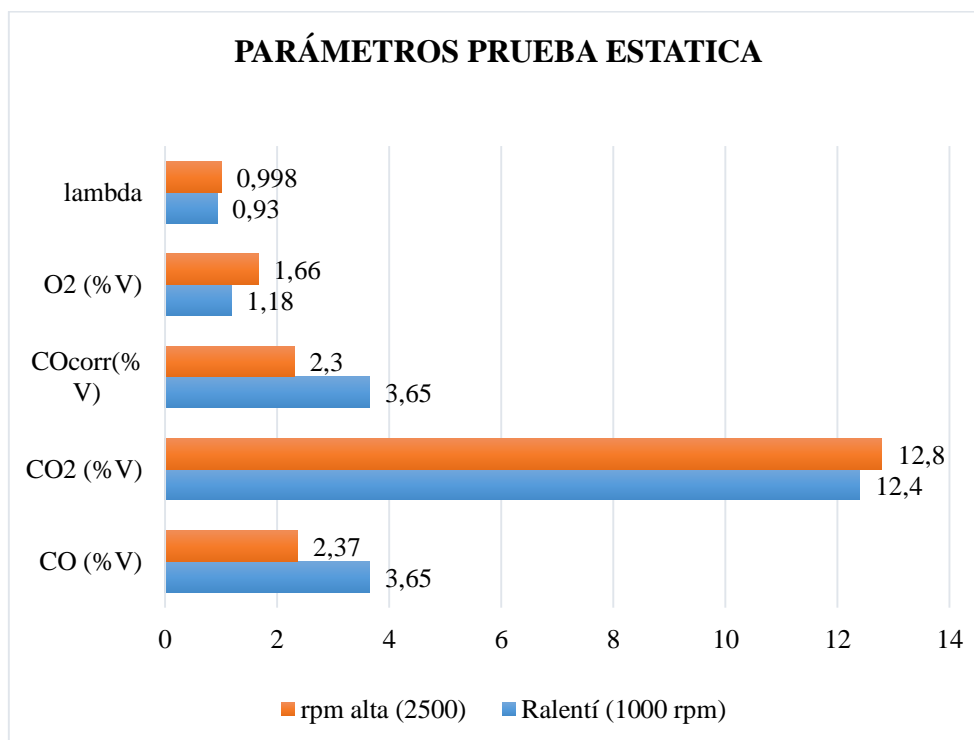


Figura 78 Emisiones contaminantes

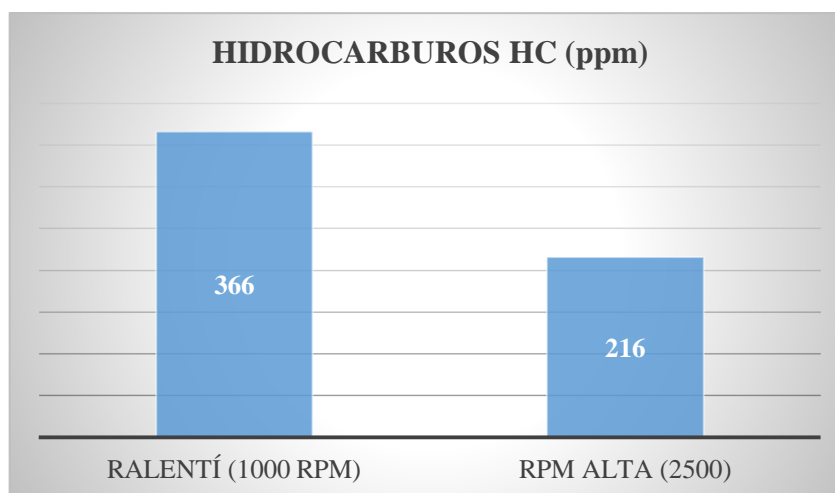


Figura 79 Hidrocarburos con la implementación de los sistemas

4.7. Análisis comparativo de emisiones

Según la norma RTE INEN 017 “**CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES**”, los límites máximos permitidos para fuentes móviles con motor a gasolina marcha mínima o ralentí (Prueba estática). No deben emitir al aire monóxido de carbono (CO) e Hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las indicadas en la tabla 25.

Tabla 25

Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres NTE INEN 017

RTE INEN 017 “CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES				
Año modelo	% CO*		ppm HC*	
	0-1500 **	1500-3000**	0-1500 **	1500-3000**
2000 y posteriors	3,5	4,5	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200

* Volumen

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

Fuente: (Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

En la figura 80 se observa que el nivel de hidrocarburos con en el sistema tradicional y con los sistemas TWIN CAM y GTI es inferior a los valores máximos según la norma vigente en el país INEN 017.

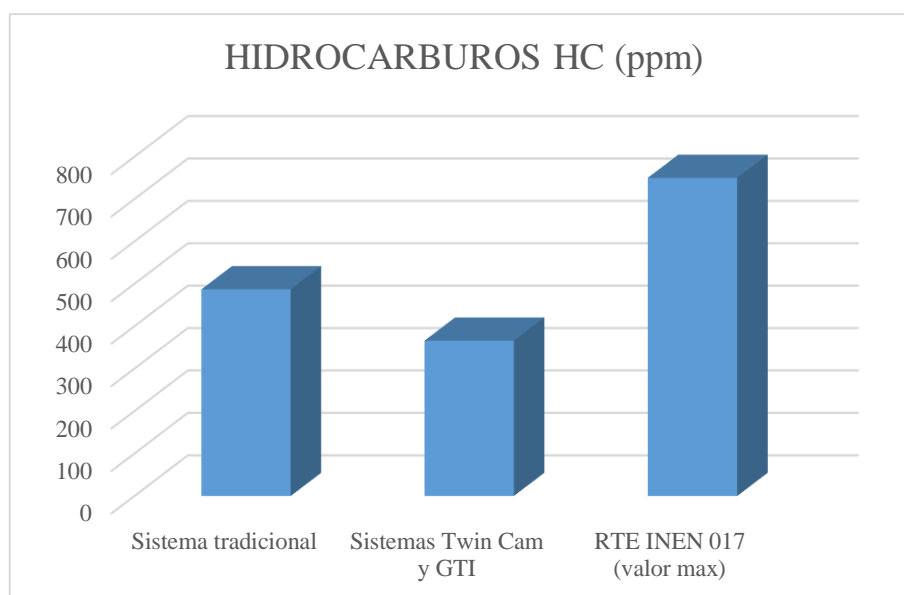


Figura 80 Nivel de hidrocarburos norma vigente

El nivel de contaminación del monóxido de carbono es inferior con los sistemas Twin Cam y GTI, cumpliendo con los valores máximos permitidos por la norma RTE INEN 017.

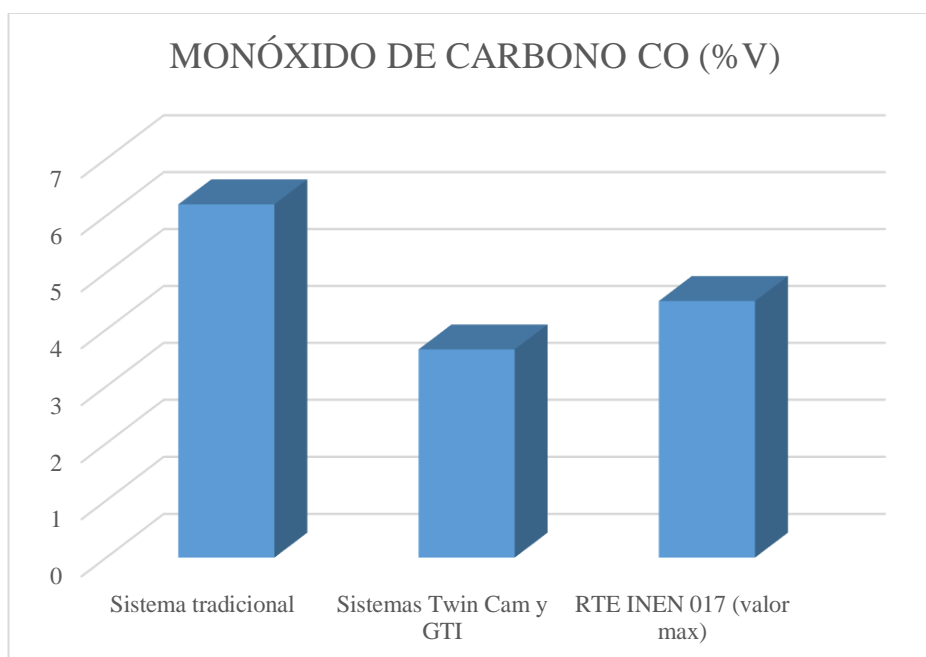


Figura 81 Monóxido de carbono norma vigente

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

En este capítulo se examinan los costos de implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI, el costo de adquisición del cabezote TWIN CAM y el sistema de inyección GTI.

5.1. Recursos

5.1.1 Recursos humanos

En lo que corresponde al talento humano colaborador en el desarrollo del proyecto de investigación se destaca la contribución de personas especializadas en varias áreas, ayudando con su asesoramiento como se describe a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 26

Recursos humanos

Orden	Descripción	Función
1	José Tubón	Estudiante
2	Ing. Luis Mena	Tutor y asesor general
3	Ing. Andrés Urbina	Asesoría en pruebas de torque, potencia y consumo de combustible
4	Téc. Angel Acosta	Asesoría en implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI
5	Ing. Edison Acosta	Asesoría en sistema de inyección electrónica GTI
6	Sr. Segundo Tubón	Financista del proyecto

5.1.2 Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos conforman los medios que ayudaron y facilitaron el desarrollo de la parte escrita de la investigación, así también contribuyeron en a tabulación de las pruebas realizadas.

Las herramientas tecnológicas utilizadas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 27

Recursos tecnológicos

Recursos tecnológicos	
Microsoft Office (Word, Excel, Visio)	Elaboración escrito / tabulación
Software MAHA LPS 3000	Control en la prueba de torque potencia y consumo de combustible
Software MGT 5	Control en la prueba de análisis de gases

Tabla 28

Costo recurso tecnológico

Recurso tecnológico					
Ord	Descripción	Cant	Unidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Equipos (Consumo de combustible)	2	Horas	50	100
2	Dinamómetro	6	Pruebas	30	180
3	Analizador de gases	6	Pruebas	10	60
Total					340.00

5.1.3 Recursos materiales

El recurso material es todo elemento físico que se utiliza y emplea en el desarrollo y la implementación del trabajo de titulación, el material empleado en la investigación se detalla a continuación.

- Vehículo Chevrolet Swift 1.6
- Equipo de herramientas (Juego de dados, llaves, desarmadores)
- Equipos automotrices (Scanner, multímetro automotriz)
- Conjunto de implementación, Cabezote TWIN CAM y sistema de inyección electrónica GTI
- Equipos de oficina

Tabla 29

Costo recurso material

Recurso material					
Ord.	Descripción	Cant.	Unidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Sistemas TWIN CAM y GTI	1	Unidad	1600	1600
2	Equipo de seguridad personal	1	Unidad	10	10
3	Multímetro Automotriz	1	Unidad	100	100
4	Combustible	40	Galones	2.00	80
5	Empastado	1	Unidad	25	25
6	Caja de herramientas	1	Unidad	100	100
7	Instalación	1	Unidad	200	200
8	Equipos (Consumo de combustible)	1	Unidad	30	30
9	Peajes	10	Unidad	2	20
10	Copias e impresiones	2	Unidad	25	50
11	Otros (Movilización)	20	Unidad	10	200
Total					2415

5.1.4 Presupuesto

Determinado los costos de recurso tecnológicos y materiales del proyecto de titulación calculamos el presupuesto total de inversión.

Tabla 30

Inversión total

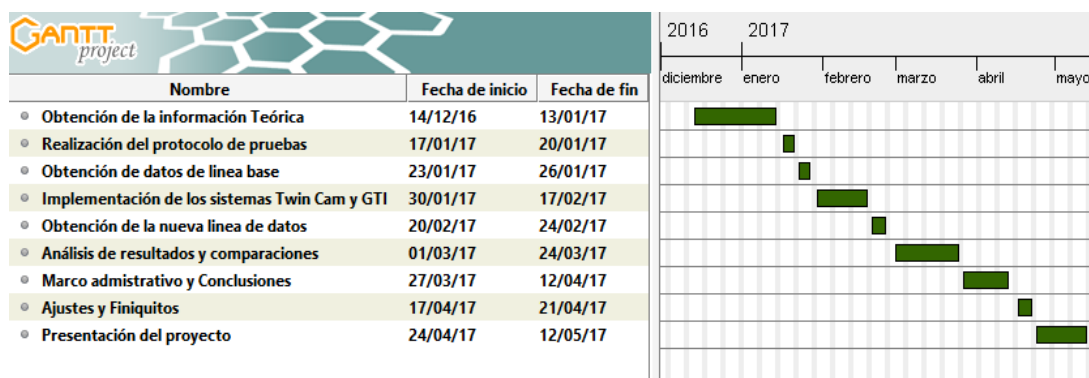
Descripción	Costo [usd]
Recurso Tecnológico	340.00
Recurso Material	2415.00
TOTAL	2755.00

Se concluye que en la ejecución del proyecto de titulación el costo total es de \$ 2755.00

5.1.5 Plan de negocio

Realizar un análisis para tener una proximidad del tamaño que alcanzara el proyecto en el medio automotriz del ecuador, con el propósito de lograr una acogida en el mercado automotriz.

5.1.6 Cronograma de actividades



CONCLUSIONES

- Los sistemas TWIN CAM y GTI del Chevrolet 1.3 litros, están diseñados para acoplarse perfectamente en el Chevrolet Swift 1.6 litros motor G16A, mediante la sustitución completa del sistema tradicional. De este modo se puede analizar la variación de los parámetros térmicos y mecánicos (torque, potencia, consumo de combustible y análisis de gases)
- En el dinamómetro de rodillos se determinaron los parámetros de torque 117 N.m y potencia 55 Kw, sin la implementación de los sistemas Twin Cam y GTI, al vehículo Chevrolet Swift.
- Se implementó el cabezote TWIN CAM en conjunto con el sistema de inyección GTI al vehículo Chevrolet Swift 1.6 litros, con el propósito de analizar la variación de cada uno de los parámetros térmicos y mecánicos, los cuales presentaron un aumento significativo en el funcionamiento del vehículo.
- Los resultados de torque y potencia del vehículo Chevrolet Swift 1.6 litros motor G16A, obtenidos en el dinamómetro de rodillos, con los sistemas TWIN CAM y GTI muestran un aumento de torque de 117 N.m a 142 N.m y potencia de 55 Kw a 79.6 Kw.
- Los valores de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) obtenidos en el analizador de gases, muestran una disminución de HC de 487 a 366 ppm y CO de 6.2 a 3.54 % por debajo de los valores máximos permitidos según la norma vigente de emisiones de gases contaminantes INEN 017, aportando a la reducción de gases contaminantes emanados por vehículos.
- Los valores obtenidos mediante la prueba de consumo de combustible con los sistemas implementados reflejan una disminución de consumo de 0.24 litros, de esta manera economiza el costo y viabilidad para el conductor.

RECOMENDACIONES

- Para la obtención de potencia máxima es indispensable la utilización de un dinamómetro calibrado, de acuerdo a los parámetros característicos de la ficha técnica proporcionada por el fabricante del vehículo, ya que si se excede a los límites máximos de revoluciones durante la prueba podría causar la fundición del motor.
- Implementar los sistemas TWIN CAM y GTI a vehículos Chevrolet Swift 1.6 litros, para reducir la contaminación de gases emanados al medio ambiente: Monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), los cuales están expuestos a la atmosfera y causan el efecto invernadero y a su vez contaminan el medio ambiente, razón por la cual la adaptación de estos sistemas resultan viables para la industria automotriz.
- Mantener el vehículo en óptimas condiciones de funcionamiento, a fin de evitar fallas durante las pruebas, garantizando la seguridad y obtención de resultados más exactos. Además se deben tomar los resultados de tres pruebas con el propósito de obtener los datos más precisos, de este modo se puede realizar interpretaciones claras comparando con los cálculos de cada uno de los parámetros térmicos y mecánicos del motor G16A.
- Modificar los sistemas tradicionales del vehículo Chevrolet Swift 1.6 por los conjuntos TWIN CAM y GTI son de gran ayuda para la industria automotriz, ya que permite distinguir nuevos parámetros de funcionamiento del motor como: aumento de potencia y torque, reducción de gases contaminantes al medio ambiente. Esto resulta una alternativa fiable y segura para nuevas adaptaciones de sistemas del vehículo.
- La seguridad personal es un parámetro de gran importancia, para la obtención de pruebas, además para la implementación de los sistemas TWIN CAM y GTI, ya que reduce al máximo, posibles accidentes o complicaciones en el desarrollo del trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J. M. (1997). *Técnicas del Automovil Motores*. Madrid: Paraninfo.
- *autodaewoospark.com*. (11 de Diciembre de 2016). Recuperado el 14 de Enero de 2017, de *autodaewoospark.com*: <http://www.autodaewoospark.com/sonda-lambda.php>
- BOSCH, R. (1996). *Manual de la técnica del automovil*. Barcelona: REVERTE.
- BOSCH, R. (Agosto de 2008). *br.bosch-automotive*. Obtenido de *br.bosch-automotive*: http://br.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories_2/motor_and_systems/benzin/injection_system/injection_system_3.html
- BOSCH, R. (2015). *boschautopartes*. Obtenido de *boschautopartes*: <http://www.boschautopartes.mx/Cat%C3%A1logos/Pages/Descargas.aspx>
- Crouse, W. H. (1996). *Motores del Automovil*. Mexico,D.F.: Alfaomega.
- Desantes, P. &. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Barcelona: Reverte, S.A.
- Ecured. (2 de abril de 2016). *www.ecured.cu*. Recuperado el 03 de Enero de 2017, de *www.ecured.cu*: https://www.ecured.cu/Motor_doble_%C3%A1rbol_de_levas_en_cabeza
- Ferrer, A. (28 de Abril de 2015). *autonoción.com*. Recuperado el 04 de Enero de 2017, de *autonoción.com*: <https://www.autonoción.com/correa-distribución-cadena-motor/>
- *fierrosclasicos.com*. (29 de Diciembre de 2014). Recuperado el 10 de Enero de 2017, de *fierrosclasicos.com*: <http://www.fierrosclasicos.com/wp-content/uploads/2014/12/vs-2.jpg>
- Giacosa, D. (1989). *Motores Endotermicos*. Barcelona: Dossat,S.A.
- Guilli. (09 de Junio de 2016). *mecanicoautomotriz.org*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de *mecanicoautomotriz.org*: <https://www.mecanicoautomotriz.org/1585-manual-motor-dohc-1-6l-hyundai-matrix-sistemas-componentes>
- Jovaj, M. (1982). *Motores de automóvil*. Moscu: Mir.
- Lehbrink, H., & Schlegelmilch, R. W. (1995). *Ferrari*. Reino Unido: Konemann.
- Lorenz, N., Bauer, T., & Willson, B. (2005). Design of a direct injection retrofit kit for small. *Society of Automotive Engineers of Japan*, 1-7.

- Megane, D. (04 de Junio de 2014). *aficionadosalamecanica*. Recuperado el 11 de Enero de 2017, de aficionadosalamecanica: <http://www.aficionadosalamecanica.net/images-varios/distribucion-ohv.jpg>
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna diesel-gasolina*. Quito: Imprenta nueva Aurora.
- Montenegro, M. (2011). *Gas Natural Comprimido Vehicular GNCV*. Recuperado el 05 de Enero de 2017, de banrepcultural.org: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre7.htm>
- Moscoso. (14 de Junio de 2016). *es.scribd.com*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de [es.scribd.com](https://es.scribd.com/doc/17449406/PARAMETROS-DE-UN-MOTOR): <https://es.scribd.com/doc/17449406/PARAMETROS-DE-UN-MOTOR>
- Nick, D. (18 de Abril de 2016). *supercars.net*. Recuperado el 12 de Enero de 2017, de [supercars.net](https://www.supercars.net/blog/1961%E2%86%921964-maserati-3500-gti/): <https://www.supercars.net/blog/1961%E2%86%921964-maserati-3500-gti/>
- Orovio, M. (2010). *Tecnología del automovil*. Paraninfo: Madrid.
- Pawlak, D. I. (1984). *Funcionamiento de Motores de Combustion Interna*. Mexico D. F. Linares.: Universidad Autonoma Nuevo León.
- Payri, F., & Desantes, J. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. València: UPV.
- Perez, J. M. (1997). *Técnicas del AUTOMÓVIL MOTORES*. España: Paraninfo.
- Pincay, J. (20 de Febrero de 2015). *mandodearboldelevas.blogspot.com*. Recuperado el 05 de Enero de 2017, de [mandodearboldelevas.blogspot.com](http://2.bp.blogspot.com/-CW_xdwXIJ2A/VOdiTd9uQXI/AAAAAAAAABA/8YFceqgeb_M/s1600/e.png): http://2.bp.blogspot.com/-CW_xdwXIJ2A/VOdiTd9uQXI/AAAAAAAAABA/8YFceqgeb_M/s1600/e.png
- Rajput, R. (2011). *Ingeniería Termodinámica*. México D.F.: Cengage Learning.
- Ramos, L. (11 de Junio de 2010). *noticias.coches.com*. Recuperado el 13 de Enero de 2017, de [noticias.coches.com](http://noticias.coches.com/noticias-motor/la-historia-del-exitoso-volkswagen-golf-gti/20453): <http://noticias.coches.com/noticias-motor/la-historia-del-exitoso-volkswagen-golf-gti/20453>
- Roman, N. S. (1990). *Manual de servicio GTI*. Japón: Motor Corporation.
- Schlegelmilch, R. W. (1996). *MERCEDES SPORT*. Alemania: Konemann.
- Suzuki . (1991). *Suzuki SF416A Manual de servicio*. Japón: Motor Corporation.
- United Nations. (2014). *Protocolo de Kyoto*. Obtenido de Framework Convention of Climate Change:

http://unfccc.int/portal_espa%C3%B1ol/informacion_basica/protocolo_de_kyoto/items/6215.php

- WilliamB. Ribbens, P. (2003). *Electronica Automotriz*. Mexico D.F.: Limusa.
- Willson, B. (2002). Direct injection as a retrofit strategy for reducing. *Better Air Quality Asia Conference*.

- **NORMAS**

- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de normalización. (2000). *Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralenti". Prueba estática*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *Gestión ambiental. aire. vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2008). *Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2017). *RTE 017 Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres*. Quito: INEN.
- Ecuador. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. (2015). *iner.gob.ec*. Obtenido de *iner.gob.ec*: <http://www.iner.gob.ec/>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: JOSÉ LUIS TUBÓN CONDEMAITA

En la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de Mayo del 2017.

Ing. Luis Mena

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Fredy Jaramillo Checa

SECRETARIO ACADÉMICO