



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

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

**TEMA: INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR
DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MAZDA 929 AL
IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL
REPROGRAMABLE MODULADA CON RACETEC R1000**

AUTOR: HIDALGO VENEGAS, RODRIGO XAVIER

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN

LATACUNGA

2019



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MAZDA 929 AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL REPROGRAMABLE MODULADA CON RACETEC R1000**” fue realizado por el señor **Hidalgo Venegas, Rodrigo Xavier** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de Julio del 2019

Firma:

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

C.C.: 050143263-7



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Hidalgo Venegas, Rodrigo Xavier**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***Investigación del desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 23 de Julio del 2019

Firma

Hidalgo Venegas, Rodrigo Xavier

C.C.: 050438348-0



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Hidalgo Venegas, Rodrigo Xavier** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***Investigación del desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 23 de Julio del 2019

Firma

Hidalgo Venegas, Rodrigo Xavier

C.C.: 050438348-0

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación principalmente a mi madre, Gloria y a mis abuelitos Humberto y Aurora quienes a lo largo de mi vida me brindaron el apoyo necesario y han sabido plasmar en mí los valores más importantes para mi superación y la cooperación con las personas que me rodean.

A mi familia en general, quienes me apoyaron constantemente y se han preocupado por las metas que me he propuesto alcanzar en pro de ser una mejor persona, un mejor hijo y un mejor ser humano.

A mis amigos, quienes a lo largo de mi carrera universitaria han sabido permanecer a mi lado pese a las circunstancias, con la mejor energía del mundo para salir adelante ante los problemas.

Y en especial a mi abuelito, Humberto, quien siempre con su enorme positivismo sabía cómo alegrar mi vida y hacerme olvidar las situaciones difíciles que atravesábamos, donde sea que estés siempre te llevaré conmigo y te sentirás orgulloso de cada paso que dé.

Xavier Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi madre por todo el tiempo que me entregó desde el día que llegué al mundo, quien con una inmensa ternura y cariño supo enseñarme el valor de las cosas, lo difícil que puede tornarse la vida en circunstancias adversas y la fortaleza que debo tener en mi interior para no derrumbarme; gracias por toda la paciencia que tuvo, aunque en ocasiones no sea un hijo pródigo, jamás retiró su brazo de mi hombro señalando el camino correcto que debo seguir para conseguir mis objetivos con una enorme autoridad moral.

A mis abuelitos, Humberto y Aurora, que sembraron en mí todo lo bueno que ellos tenían y en especial el sacrificio que día a día es necesario para salir adelante, son mi ejemplo de amor verdadero y la demostración más clara de lo importante que es la unión familiar.

A mi tutor, ingeniero Germán, quien supo apoyarme desde el principio del proyecto, e inclusive desde estudiante, donde impartió todos sus conocimientos académicos y de la vida en general, para disminuir ligeramente la dificultad del trayecto a recorrer hasta alcanzar un peldaño más de mi superación personal.

Xavier Hidalgo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxii
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT	xxiv

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MAZDA 929 AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL REPROGRAMABLE MODULADA CON RACETEC R1000”

1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	5
1.4. Justificación e importancia	6
1.5. Objetivos	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos	8
1.6. Metas	8
1.7. Hipótesis	9
1.8. Variables de investigación.....	9
1.8.1. Variable independiente.....	9
1.8.2. Variable dependiente	9

1.8.3.	Operacionalización de variables	10
a)	Variable independiente.....	10
b)	Variable dependiente	11
1.9.	Metodología	11
1.9.1.	Método inductivo	12
1.9.2.	Método deductivo	12
1.9.3.	Método de medición	12
1.9.4.	Método experimental.....	12
1.9.5.	Método observación directa	13
1.9.6.	Método de matematización	13

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Sistema de carburador	16
2.1.1.	Principio de funcionamiento	17
2.1.2.	Circuitos principales del carburador	18
a)	Circuito de alta	18
b)	Circuito de media	19
c)	Circuito de baja	20
d)	Circuito de arranque.....	20
e)	Circuito de aceleración	21
2.1.3.	Relación estequiométrica	22
2.2.	Sistema de inyección electrónica	23
2.2.1.	Principio de funcionamiento	24
2.2.2.	Tipos de sistemas de inyección.....	25
a)	Inyección indirecta.....	25
b)	Inyección directa	28
2.2.3.	Elementos del sistema	29
2.3.	Sensores	30
2.3.1.	Sensor CKP	30
2.3.2.	Sensor CMP.....	31

2.3.3.	Sensor MAP	31
2.3.4.	Sensor TPS.....	32
2.3.5.	Sensor ECT.....	32
2.4.	Actuadores	33
2.4.1.	Bobina.....	33
2.4.2.	Bomba de combustible	34
2.4.3.	Inyectores	35
2.4.4.	Regulador de presión de combustible	36
2.5.	Cuerpos de aceleración individuales	37
2.6.	Unidad de control electrónico	38
2.6.1.	Estructura de la unidad de control electrónico	39
a)	Microprocesador	39
b)	Memorias	40
2.7.	Reprogramación de la ECU.....	41
2.7.1.	Flasheo de memorias.....	42
a)	Flasheo vía OBD	42
b)	Flasheo vía BDM.....	43
c)	Flasher J2534	44
2.7.2.	Reprogramación de ECU standard.....	44
2.7.3.	Reprogramación de ECU programable.....	45
2.8.	Parámetros característicos del motor de combustión interna	46
2.8.1.	Potencia	46
a)	Potencia indicada	47
b)	Potencia efectiva	48
2.8.2.	Torque.....	48
a)	El par motor.....	48
b)	El par en rueda.....	49
2.8.3.	Consumo de combustible	49
2.8.4.	Consumo específico de combustible	50
2.8.5.	Presión media efectiva	50
2.8.6.	Rendimiento mecánico.....	51

2.8.7.	Rendimiento térmico	52
2.8.8.	Rendimiento indicado	53
2.8.9.	Rendimiento efectivo	54
2.8.10.	Rendimiento volumétrico	54
2.8.11.	Rendimiento total	55
a)	Resistencia al rodamiento	56
b)	Resistencia del aire	56
2.8.12.	Emisiones contaminantes	57
a)	Dióxido de carbono (CO ₂)	58
b)	Monóxido de carbono (CO)	58
c)	Hidrocarburos (HC)	59
d)	Óxidos de nitrógeno (NO _x)	59
2.9.	Mapa de eficiencia volumétrica	59
2.9.1.	Zona 1	60
2.9.2.	Zona 2	61
2.9.3.	Zona 3	61
2.9.4.	Zona 4	62
2.9.5.	Zona 5	62
2.9.6.	Zona 6	63
2.9.7.	Zona 7	64
2.10.	Mapas de encendido	64
2.10.1.	Evitar el golpeteo	64
2.10.2.	Avance de encendido con incremento de la velocidad del motor	65
2.10.3.	Retraso de encendido con aumento de carga del cilindro	65
2.10.4.	No entregar el par máximo en ralentí	66
2.11.	Calibración de la ECU	67
2.12.	Angulo de encendido y presión en el cilindro	67

CAPÍTULO III

INSTALACION E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1.	Especificaciones técnicas del motor del vehículo Mazda 929	69
------	--	----

3.2.	Unidad electrónica reprogramable RaceTec R1000	69
3.2.1.	Distribución de pines RaceTec R1000.....	71
3.3.	Sensores	74
3.3.1.	Sensor CKP	74
3.3.2.	Sensor CMP	75
3.3.3.	Sensor MAP	76
3.3.4.	Sensor TPS.....	76
3.3.5.	Sensor ECT.....	77
3.4.	Actuadores	77
3.4.1.	Bobina.....	77
3.4.2.	Inyector (Denso 0400 / 16450-MEL-003).....	78
3.5.	Cuerpos de aceleración individuales ITB's	79
3.6.	Circuito de implementación	80
3.7.	Adaptaciones para el sistema	81
3.8.	Instalación del sistema de inyección electrónica	82
3.8.1.	Sensores	83
3.8.2.	Actuadores	84
3.9.	Dinamómetro de rodillos.....	84
3.10.	Analizador de gases BrainBee AGS-688.....	86
3.11.	Multímetro	87
3.12.	Software RaceTec Manager.....	87
3.13.	Proceso de reprogramación	90
3.13.1.	Mapa 1	90
3.13.2.	Mapa 2.....	91

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	Prueba de potencia y torque	93
4.1.1.	Vehículo a carburador	96
4.1.2.	Primer mapa.....	98
4.1.3.	Segundo mapa	99

4.2.	Prueba de emisiones contaminantes.....	101
4.2.1.	Vehículo a carburador	103
4.2.2.	Primer mapa.....	105
4.2.3.	Segundo mapa	107
4.3.	Prueba de consumo de combustible	108
4.3.1.	Vehículo a carburador	112
4.3.2.	Primer mapa.....	113
4.3.3.	Segundo mapa	114
4.4.	Análisis de resultados	115
4.4.1.	Potencia y torque	115
a)	Margen de ganancia.....	119
4.4.2.	Emisiones contaminantes.....	121
a)	Monóxido de carbono	121
b)	Dióxido de carbono	122
c)	Hidrocarburos.....	123
d)	Óxidos de nitrógeno	123
4.4.3.	Consumo de combustible	124
4.5.	Cálculos del ciclo termodinámico del motor.....	126
4.5.1.	Datos para los cálculos del ciclo termodinámico	126
4.5.2.	Cálculo de factores mecánicos.....	128
4.5.3.	Cálculo del ciclo termodinámico	129
4.5.4.	Cálculo de parámetros indicados y efectivos.....	130
4.5.5.	Cálculo de rendimientos del motor de combustión interna	131

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1.	Recursos	133
5.1.1.	Recursos humanos	133
5.1.2.	Recursos tecnológicos	133
5.1.3.	Recursos materiales.....	134
5.2.	Presupuesto	134

CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	140
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	142
ANEXO	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de la variable independiente	10
Tabla 2 Operacionalización de la variable dependiente	11
Tabla 3 Metodología	13
Tabla 4 Especificaciones del motor del vehículo Mazda 929	69
Tabla 5 Características del módulo de inyección electrónica RaceTec R100.....	70
Tabla 6 Descripción de pines del conector primario de la RaceTec R1000.....	72
Tabla 7 Descripción de pines del conector secundario de la RaceTec R1000	73
Tabla 8 Medición entre los terminales del sensor CKP	75
Tabla 9 Medición entre los terminales del sensor CMP	75
Tabla 10 Medición entre los terminales del sensor TPS.....	76
Tabla 11 Mediciones de los terminales del sensor ECT	77
Tabla 12 Mediciones de los terminales de la bobina	78
Tabla 13 Mediciones en los terminales de los inyectores.....	79
Tabla 14 Adaptaciones adicionales para el sistema.....	81
Tabla 15 Instalación de los sensores en el vehículo	83
Tabla 16 Instalación de los actuadores en el vehículo	84
Tabla 17 Características del dinamómetro de rodillos.....	85
Tabla 18 Características del analizador de gases Brain Bee AGS - 688.....	86
Tabla 19 Características del multímetro Mastech MS 8233C.....	87
Tabla 20 Proceso de instalación del software RaceTec Manager	88
Tabla 21 Configuración del mapa 1	91
Tabla 22 Configuración del mapa 2	92

Tabla 23	Protocolo de seguridad para el anclaje del vehículo en el dinamómetro	93
Tabla 24	Protocolo de medición para el dinamómetro	95
Tabla 25	Resultados del ensayo dinamométrico con el vehículo a carburador	96
Tabla 26	Resultados del ensayo dinamométrico con el mapa 1.....	98
Tabla 27	Resultados del ensayo dinamométrico con el mapa 2.....	100
Tabla 28	Protocolo de medición para el analizador de gases	101
Tabla 29	Resultados del ensayo de gases del vehículo a carburador	104
Tabla 30	Resultados del ensayo de gases del vehículo con el mapa 1	105
Tabla 31	Resultados del ensayo de gases del vehículo con el mapa 2.....	107
Tabla 32	Consideraciones antes del inicio de la prueba de consumo de combustible	110
Tabla 33	Datos iniciales, finales y resultantes de la prueba de consumo	112
Tabla 34	Datos del ensayo de consumo de combustible del vehículo a carburador....	112
Tabla 35	Datos del ensayo de consumo de combustible del vehículo con el mapa 1 .	113
Tabla 36	Datos del ensayo de consumo de combustible del vehículo con el mapa 2 .	114
Tabla 37	Resultados de las pruebas de torque y potencia	115
Tabla 38	Valores máximos de potencia	118
Tabla 39	Valores máximos de torque.....	119
Tabla 40	Porcentajes de ganancia de potencia y torque	120
Tabla 41	Datos del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929.....	127
Tabla 42	Parámetros atmosféricos	127
Tabla 43	Coeficientes involucrados en el ciclo termodinámico.....	128
Tabla 44	Cálculo de parámetros mecánicos	129
Tabla 45	Cálculos del ciclo termodinámico	129

Tabla 46 Factores indicados y efectivos del motor.....	130
Tabla 47 Rendimientos del motor del vehículo Mazda 929	132
Tabla 48 Recursos humanos del proyecto de investigación.....	133
Tabla 49 Recursos tecnológicos del proyecto de investigación.....	133
Tabla 50 Recursos materiales del proyecto de investigación	134
Tabla 51 Presupuesto del proyecto de investigación	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de planteamiento de problemas	4
Figura 2 Carburador	16
Figura 3 Funcionamiento de carburador	18
Figura 4 Circuito de alta	19
Figura 5 Circuito de media.....	19
Figura 6 Circuito de baja	20
Figura 7 Circuito de arranque	21
Figura 8 Circuito de aceleración	21
Figura 9 Relación estequiométrica	23
Figura 10 Sistema de inyección electrónica.....	24
Figura 11 Inyección monopunto	25
Figura 12 Inyección multipunto	26
Figura 13 Inyección simultánea	27
Figura 14 Inyección semi-secuencial.....	27
Figura 15 Inyección secuencial	28
Figura 16 Inyección directa.....	28
Figura 17 Elementos de la inyección electrónica	29
Figura 18 Sensor CKP.....	30
Figura 19 Sensor CMP	31
Figura 20 Sensor MAP	32
Figura 21 Sensor TPS.....	32
Figura 22 Sensor ECT	33

Figura 23 Bobina DIS y sus partes	34
Figura 24 Bomba de combustible	34
Figura 25 Inyector	35
Figura 26 Regulador de presión	36
Figura 27 Tomas de vacío en cada estrangulador.....	37
Figura 28 Cuerpos de aceleración individuales	38
Figura 29 ECU.....	39
Figura 30 Estructura de una ECU.....	41
Figura 31 Puerto OBD2.....	43
Figura 32 Socket de la ECU	43
Figura 33 RaceTec R1000.....	46
Figura 34 Curva de torque y potencia.....	47
Figura 35 Biela - manivela	49
Figura 36 Balance energético del motor	52
Figura 37 Pérdidas de energía del motor.....	56
Figura 38 Lambda vs Emisiones.....	58
Figura 39 Zonas de eficiencia volumétrica.....	60
Figura 40 Mapa motor vista tridimensional	67
Figura 41 Torque vs Avance.....	68
Figura 42 RaceTec R1000.....	70
Figura 43 Socket principal de la RaceTec R1000	71
Figura 44 Socket secundario de la RaceTec R1000	73
Figura 45 Sensor CKP.....	74

Figura 46 Sensor CMP	75
Figura 47 Sensor MAP	76
Figura 48 Sensor TPS	76
Figura 49 Sensor ECT	77
Figura 50 Bobina	78
Figura 51 Inyector	79
Figura 52 Cuerpos de aceleración individuales	79
Figura 53 Circuito de conexión del módulo de inyección reprogramable	80
Figura 54 Reluctor del cigueñal	81
Figura 55 Base para el sensor CKP	81
Figura 56 Base para los ITB's	82
Figura 57 Nueva rosca para el ECT	82
Figura 58 Línea de retorno	82
Figura 59 Regulador de presión	82
Figura 60 Sensor CKP	83
Figura 61 Sensor CMP	83
Figura 62 Sensor MAP	83
Figura 63 Sensor TPS	83
Figura 64 Sensor ECT	83
Figura 65 Inyectores en los ITB's	84
Figura 66 Bobinas de chispa perdida	84
Figura 67 Bomba externa	84
Figura 68 Dinamómetro de rodillos Saenz	85

Figura 69 Analizador de gases Brain Bee AGS-688	86
Figura 70 Multímetro Mastech	87
Figura 71 Descargar instalador	88
Figura 72 Ejecutar instalador	88
Figura 73 Pantalla principal	88
Figura 74 Nuevo proyecto	88
Figura 75 Configuraciones iniciales	89
Figura 76 Configuración de inyección.....	89
Figura 77 Configuración de ignición	89
Figura 78 Delimitación de mapas	89
Figura 79 Edición de mapas	89
Figura 80 Mapa 1 de inyección.....	91
Figura 81 Mapa 1 de ignición	91
Figura 82 Mapa 2 de inyección.....	92
Figura 83 Mapa 2 de ignición	92
Figura 84 Área de trabajo del dinamómetro.....	93
Figura 85 Montaje del vehículo en el dinamómetro	93
Figura 86 Puntos de anclaje del dinamómetro.....	94
Figura 87 Puntos de anclaje del vehículo	94
Figura 88 Fijación del vehículo a los puntos de anclaje	94
Figura 89 Verificación de cada punto de anclaje	94
Figura 90 Switch de ignición del vehículo	95
Figura 91 Puesta en marcha del vehículo sobre el dinamómetro	95

Figura 92 Estabilización del régimen de giro	95
Figura 93 Resultados de la prueba dinamométrica.....	95
Figura 94 Reducción de velocidad.....	96
Figura 95 Detención de giro de los rodillos	96
Figura 96 Curva de torque vs potencia del vehículo a carburador	97
Figura 97 Curva de torque vs potencia del vehículo con el mapa 1	99
Figura 98 Curva de torque vs potencia del vehículo con el mapa 2	100
Figura 99 Indicador de temperatura del vehículo.....	101
Figura 100 Alimentación de los equipos	102
Figura 101 Cuentarevoluciones	102
Figura 102 Pantalla principal del software Brain Bee.....	102
Figura 103 Prueba de estanqueidad de la sonda	102
Figura 104 Ubicación de la sonda en el vehículo.....	103
Figura 105 Lectura de valores en el analizador	103
Figura 106 Reporte generado luego de la prueba	103
Figura 107 Cantidad de gases contaminantes a diferentes revoluciones	104
Figura 108 Curva de enriquecimiento del vehículo a carburador	105
Figura 109 Cantidad de gases contaminantes del vehículo con el mapa 1	106
Figura 110 Curva de enriquecimiento del vehículo con el mapa 1	106
Figura 111 Cantidad de gases contaminantes del vehículo con el mapa 2.....	107
Figura 112 Curva de enriquecimiento del vehículo con el mapa 2.....	108
Figura 113 Ruta establecida para las pruebas de consumo de combustible.....	109
Figura 114 Indicador de temperatura y nivel de combustible	110

Figura 115 Llenado del reservorio	110
Figura 116 Lectura de presión de los neumáticos	110
Figura 117 Condiciones ambientales durante la prueba	110
Figura 118 Lectura del odómetro del vehículo	111
Figura 119 Ventanas cerradas	111
Figura 120 Curvas de potencia en diferentes condiciones de funcionamiento	116
Figura 121 Curvas de torque en diferentes condiciones de funcionamiento	117
Figura 122 Resultados de potencia máxima	118
Figura 123 Resultados de par motor máximo	119
Figura 124 Porcentaje de CO en cada configuración del vehículo	121
Figura 125 Porcentaje de CO ₂ en cada configuración del vehículo	122
Figura 126 Cantidad de hidrocarburos en cada configuración del vehículo	123
Figura 127 Cantidad de NO _x para cada configuración del vehículo	124
Figura 128 Consumo de combustible en cada configuración del vehículo	125

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Potencia	47
Ecuación 2: Potencia indicada	47
Ecuación 3: Consumo específico de combustible	50
Ecuación 4: Presión media efectiva	51
Ecuación 5: Rendimiento mecánico	51
Ecuación 6: Rendimiento térmico.....	52
Ecuación 7: Rendimiento indicado	53
Ecuación 8: Rendimiento efectivo	54
Ecuación 9: Rendimiento volumétrico	55
Ecuación 10: Porcentaje de ganancia	120

RESUMEN

A lo largo de los años, desde que inició la era automotriz, se han desarrollado nuevas tecnologías e investigaciones que permiten alcanzar un nivel más alto en cuanto a rendimiento se refiere, es así, que la infraestructura con la que se contaba hace un par de décadas resulta obsoleta en contraste con los actuales sistemas involucrados en la correcta operación de un vehículo, el cual está orientado a un funcionamiento más amigable con el medio ambiente y con los usuarios, optimizando los recursos disponibles así como la energía que consume cada uno de ellos. De esta forma, es que los automóviles en la actualidad trabajan en conjunto con grandes cantidades de componentes electrónicos que superan a los componentes mecánicos que se tenía en la antigüedad, por lo cual, el empleo de un módulo de inyección reprogramable es el pilar fundamental para controlar los parámetros de inyección e ignición y en su respuesta conseguir un incremento considerable de la potencia y torque desarrollado por el motor de combustión interna del vehículo Mazda 929. El sistema de alimentación de fábrica fue reemplazado por componentes de la actualidad, para lograr el aumento del desempeño del motor, el cual fue cuantificado con la ayuda de pruebas dinamométricas, emisiones y consumo de combustible, y posteriormente comparado con los datos iniciales.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMÓVIL MAZDA 929**
- **AUTOMÓVILES - REPROGRAMACIÓN**
- **AUTOMÓVILES – REPOTENCIACIÓN**

ABSTRACT

Over the years, since the automotive era began, new technologies and research have been developed that allow reaching a higher level in terms of performance, it is thus, that the infrastructure that was available a couple of decades ago is obsolete in contrast to the current systems involved in the correct operation of a vehicle, which is oriented to a friendlier operation with the environment and with users, optimizing the available resources as well as the energy consumed by each of them. In this way, the cars currently work together with large quantities of electronic components that exceed the mechanical components that were in the past, so the use of a reprogrammable injection module is the fundamental pillar for control the parameters of injection and ignition, and in his response achieve a considerable increase in power and torque developed by the internal combustion engine of the Mazda 929 vehicle. The factory power system was replaced by current components, to achieve the increase of the performance of the engine, which was quantified with the help of dynamometric tests, emissions and fuel consumption, and later compared with the initial data.

KEY WORDS:

- **AUTOMOBILE MAZDA 929**
- **AUTOMOBILES – REPROGRAMMING**
- **AUTOMOBILES – ELECTRONIC POTENTIATION**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MAZDA 929 AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL REPROGRAMABLE MODULADA CON RACETEC R1000”

1.1. Antecedentes

Es de conocimiento general, que los vehículos impulsados por motores de combustión interna, trabajen éstos con gasolina o diésel, son una fuente de gases contaminantes para la atmósfera, además de aportar calor y ruido al medio ambiente.

Constantemente los grandes y pequeños fabricantes crean nuevas tecnologías que ayudan a reducir las cantidades de emisiones, no obstante, en la antigüedad, aquellos motores que empleaban gasolina, trabajaban con un dispositivo mecánico en su sistema de alimentación, el carburador, el cual realizaba la mezcla de aire y combustible utilizando el efecto Venturi para introducirla en el sistema de admisión. (Benítez & Ochoa, 2009)

Sin embargo, este elemento al contar con una operación netamente mecánica, hace que la cantidad de aire y combustible que ingresa a la cámara de combustión se vuelva inexacta, traduciéndose en la quema incompleta de la mezcla, lo que generará además de dióxido de carbono, nitrógeno y agua, gases contaminantes adicionales a la salida del sistema de escape como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxido de nitrógeno y carbono.

Desde hace algunos años, los motores con carburador paulatinamente han sido reemplazados por sistemas de alimentación controlados electrónicamente, pues estos al trabajar con el apoyo de sensores, los cuales recopilan información sobre las condiciones de operación del vehículo y exigencias del conductor, permiten realizar un cálculo de la cantidad de combustible a introducir en la cámara de combustión mediante los inyectores; estos actuadores modificarán el tiempo que permiten el paso de gasolina en base a los datos procesados en el interior de una computadora, que puede ser precargada por el fabricante o reprogramable.

(Benítez & Ochoa, 2009) Sobre los sistemas de combustible convencionales, afirma que: “Este sistema tiene la desventaja de generar altos niveles de emisiones, comparado con el sistema anticontaminante de un motor que funciona con inyección electrónica. Además, el consumo de combustible, el rendimiento, la eficiencia y la potencia del motor no son óptimos; se desperdicia la parte del combustible (mezcla) que, sin ser quemada o habiendo sido quemada de forma parcial, sale por el tubo de escape. Y un gran volumen de calor no es aprovechado por el combustible, debido a que el control del proceso de combustión no es exacto.” (p. 68)

Las computadoras reprogramables, son capaces de simular el trabajo de una precargada con datos de funcionamiento por el fabricante, pero con una interfaz más sencilla y aplicable a cualquier vehículo cuyo sistema de alimentación emplee un carburador.

1.2. Planteamiento del problema

Aquellos sistemas de alimentación que trabajan con un carburador para establecer la dosificación de la mezcla que ingresará al cilindro, nos permiten regular la cantidad de combustible con la que el motor trabajará, brindándonos la posibilidad de incrementar dicha proporción para obtener una mayor potencia.

Sin embargo, presenta grandes desventajas en comparación con un sistema de alimentación gobernado electrónicamente, pues al ser controlado mediante las señales emitidas por sensores, se cuenta con una cantidad más exacta de combustible con la que el motor debería funcionar, todo esto apuntando a la optimización de la energía y poder calorífico de la gasolina, ya que su combustión en el interior del cilindro será completa, reduciendo en gran cantidad los gases contaminantes que son expulsados hacia el medio ambiente.

Al reemplazar el antiguo sistema de alimentación controlado por un componente de funcionamiento mecánico por uno que regula la cantidad de gasolina de manera más exacta, se consigue una reducción notable del consumo de combustible y un incremento en el desempeño mecánico del vehículo, ya que, debido al monitoreo constante de los parámetros a los que el motor está trabajando, una unidad de control electrónico procesa los datos emitidos por los sensores, para establecer los tiempos de inyección más adecuados en base a la temperatura de operación, a la cantidad de aire que se suministra al motor u otros fenómenos físicos que influyen directamente en el proceso de combustión.

Por lo que el problema a investigar en el presente proyecto, radica en el desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al

implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000.

En la figura 1 se ilustra un esquema donde se menciona los problemas y las soluciones que tuvieron lugar a lo largo del desarrollo del proyecto de investigación de: INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DEL VEHÍCULO MAZDA 929 AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE INYECCIÓN SECUENCIAL REPROGRAMABLE MODULADA CON RACETEC R1000.

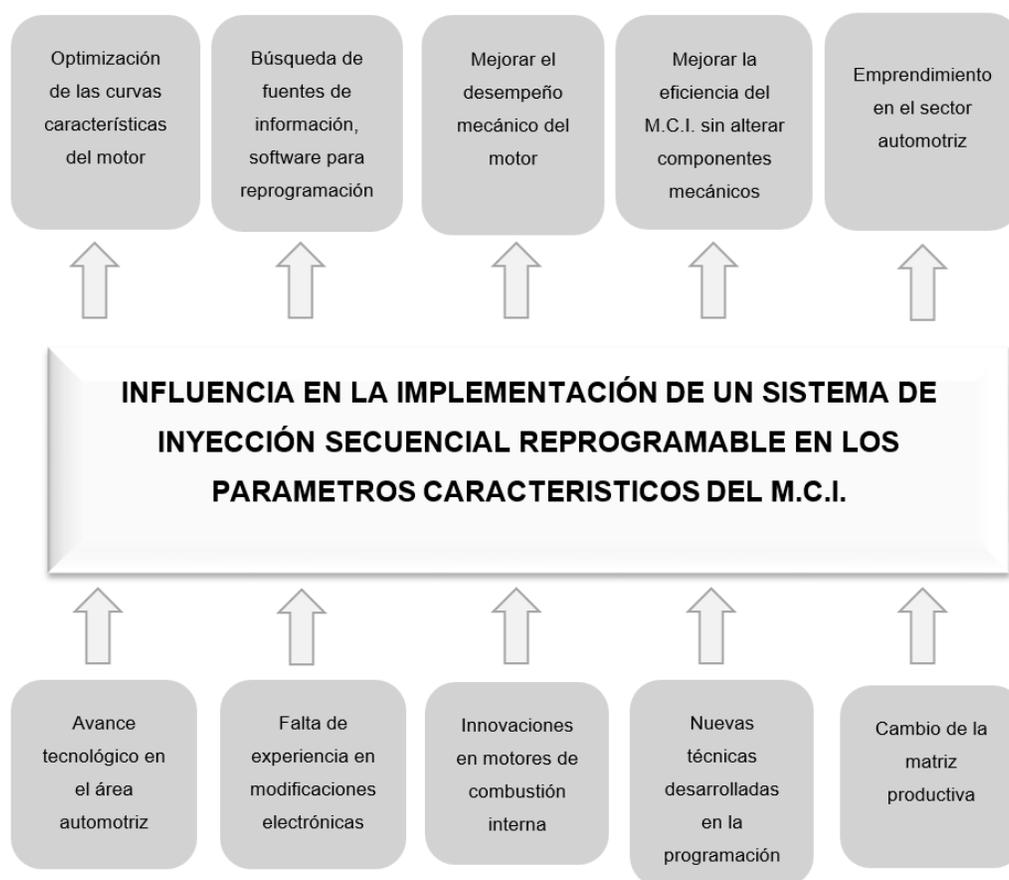


Figura 1. Árbol de planteamiento de problemas

1.3. Descripción resumida del proyecto

En la investigación del desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000 se recopiló información y datos técnicos basándose en la confiabilidad de la procedencia de libros, artículos científicos, tesis, manuales del fabricante, boletines, bases digitales.

Se obtuvo las características mecánicas y el rendimiento del vehículo Mazda 929 equipado con el motor de combustión interna VC – 1800 a través del manual del fabricante.

Se realizó un afinamiento del motor de combustión interna equipado con el sistema de alimentación convencional para establecer curvas de torque, potencia y consumo de combustible y así determinar las condiciones iniciales de funcionamiento, mediante el uso de un dinamómetro.

Se investigó sobre los tipos de software y hardware especializados para la reprogramación de una ECU tomando en cuenta las características, funciones que posee, como también la facilidad de uso. Esto fue de utilidad para seleccionar el equipo que mejor se adapte a la finalidad del proyecto.

Se seleccionó los elementos mecánicos y electrónicos que mejor se adapten a las características del motor de combustión interna y a la computadora reprogramable RaceTec R1000, para la implementación del sistema de inyección secuencial.

Se realizó la configuración de parámetros fundamentales en un sistema de alimentación del tipo secuencial, como el ajuste de inyección de combustible y el de ignición, con la finalidad de incrementar el desempeño mecánico del motor mediante un

consumo reducido de combustible y la combustión adecuada de la mezcla para minimizar la cantidad de gases contaminantes que se emiten al medio ambiente.

Se efectuó pruebas en el dinamómetro con el fin de obtener las curvas de torque, potencia y consumo de combustible que presenta el motor para determinar el desempeño mecánico, una vez implementado el sistema de inyección secuencial.

Se realizó el análisis de los gases contaminantes para corroborar la reducción de las emisiones con el nuevo sistema de alimentación.

Se estableció un análisis comparativo entre el desempeño inicial del motor de combustión y con el del sistema de inyección secuencial implementado, para comprobar la reducción del consumo de combustible y el incremento del rendimiento.

1.4. Justificación e importancia

Hoy en día los sistemas que se implementan en los vehículos cuentan con una tecnología muy avanzada para efectuar el control electrónico y mecánico del motor, con el fin de reducir la cantidad de gases emitidos a la atmósfera y optimizar el consumo de combustible para obtener un elevado rendimiento tanto térmico como mecánico empleando menor cantidad de gasolina.

Los sistemas de alimentación convencionales, trabajan con un carburador, el cual no ofrece una mezcla correcta para los diferentes escenarios a los que se somete el motor de combustión interna, traduciéndose en un consumo innecesario de combustible en relación al rendimiento que se obtiene y con ello acarrea una elevada cantidad de gases de escape.

Las computadoras reprogramables ofrecen grandes ventajas respecto a las ECU implementadas por el fabricante y aún más importantes contra un sistema de alimentación convencional, puesto que al tener la oportunidad de configurar los parámetros del sistema de inyección y de ignición, se consigue incrementar el desempeño mecánico del motor y una disminución considerable de la cantidad de gases contaminantes.

Al haber efectuado una reprogramación en los parámetros del sistema de inyección se pudo conseguir un incremento del rendimiento del motor de combustión interna, optimizando la cantidad de combustible empleado, únicamente trabajando en el sistema electrónico del vehículo, sin intervenir o modificar su mecánica.

Mediante la investigación se consiguió escrutar en el ámbito de las computadoras reprogramables y su funcionamiento, las cuales no sólo están orientadas a los vehículos de competencia, sino también, a los vehículos de serie.

Además, significa un valioso aporte a futuros proyectos que se encuentren relacionados con el mapeo y reprogramación de los sistemas de alimentación y encendido del motor de combustión interna.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Investigar el desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información de fuentes bibliográficas confiables para efectuar la modificación en los sistemas de alimentación y encendido.
- Efectuar la afinación del motor del vehículo Mazda 929 con sistema de alimentación convencional.
- Realizar pruebas para obtener curvas de torque, potencia, consumo de combustible y cantidad de emisiones de gases contaminantes iniciales.
- Seleccionar elementos mecánicos y electrónicos más adecuados para implementar el sistema de inyección secuencial modulada con RaceTec R1000.
- Implementar el sistema de inyección electrónica secuencial en el motor de combustión interna del vehículo Mazda 929.
- Modificar los valores de operación del sistema de inyección y de ignición a través de la computadora programable RaceTec R1000.
- Llevar a cabo pruebas para obtener los nuevos valores de torque, potencia, consumo de combustible y de emisiones de gases contaminantes, con el sistema de inyección secuencial reprogramada.
- Realizar el análisis comparativo entre los datos iniciales y los resultados obtenidos luego de la modificación del sistema de alimentación

1.6. Metas

- No superar el 9.99% de monóxido de carbono y las partes por millón de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno permitidos por el analizador de gases.

- Mantener un margen de incremento 15% a 20% del consumo de combustible con el sistema de inyección.
- Incrementar el desempeño mecánico del motor en un 15% interviniendo en el sistema de control electrónico del vehículo.
- Generar al menos 2 mapeos para diferentes condiciones de operación del motor.
- Monitorear los datos de operación del sistema de inyección y de encendido con la computadora programable RaceTec R1000.

1.7. Hipótesis

¿La modulación del sistema de inyección secuencial del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 permitirá la reducción de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes sin disminuir el desempeño mecánico del vehículo?

1.8. Variables de investigación

1.8.1. Variable independiente

Modulación del sistema de inyección secuencial del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929.

1.8.2. Variable dependiente

Parámetros característicos del motor de combustión interna

1.8.3. Operacionalización de variables

a) Variable independiente

Tabla 1
Operacionalización de la variable independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la modificación de valores que controlan los parámetros de la ECU, para optimizar el desempeño del motor	Lectura de memoria	Software	bits	Medición /	Protocolo de pruebas
				Experimentación	Hoja de datos
	Mapeo	Eficiencia Volumétrica	%	Reprogramación /	Protocolo de pruebas
				Medición /	Hoja de datos
				Experimentación	Protocolo de pruebas
				Reprogramación /	Hoja de datos
	Entradas	Avance al encendido	°AE	Medición /	Protocolo de pruebas
				Experimentación	Hoja de datos
				Reprogramación /	Protocolo de pruebas
				Medición /	Hoja de datos
	Entradas	Velocidad de giro	RPM	Experimentación	Hoja de datos
				Reprogramación /	Protocolo de pruebas
Medición /				Hoja de datos	
Experimentación				Hoja de datos	
Entradas	Carga del motor	bar	Reprogramación /	Protocolo de pruebas	
			Medición /	Hoja de datos	
			Experimentación	Hoja de datos	
			Reprogramación /	Protocolo de pruebas	
Entradas	Apertura del estrangulador	%	Medición /	Protocolo de pruebas	
			Experimentación	Hoja de datos	
			Reprogramación /	Protocolo de pruebas	
			Medición /	Hoja de datos	
Entradas	Temperatura de refrigerante	°C	Experimentación	Hoja de datos	
			Reprogramación /	Protocolo de pruebas	
				Medición /	Hoja de datos
				Experimentación	Hoja de datos

b) Variable dependiente

Tabla 2
Operacionalización de la variable dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
Son los indicadores del desempeño del motor de combustión interna	Curvas características	Potencia	HP	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica	
		Torque	Nm	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica	
	Consumo de combustible	Consumo volumétrico	l/100km	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica	
	Rendimiento	Mecánico	%	Matematización / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica	
	Contaminación		Dióxido de carbono (CO ₂)	%	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica
			Monóxido de carbono (CO)	%	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica
			Hidrocarburos (HC)	ppm	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica
			Óxidos de nitrógeno (NO _x)	%	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica
		Oxígeno (O ₂)	%	Medición / Experimentación	Protocolo de pruebas Guía de práctica	

1.9. Metodología

1.9.1. Método inductivo

Se utilizó este método, ya que la investigación se realizó en el vehículo Mazda 929 equipado con un motor de combustión interna VC - 1800, en el cual se pudo analizar si el control electrónico del sistema de alimentación y encendido es el adecuado, después de haber realizado modificaciones al mapeo del control electrónico.

1.9.2. Método deductivo

Dado que la investigación se enfoca en el estudio de los parámetros característicos del control electrónico del sistema de alimentación y encendido, se analizó la información que se generó para poder verificar el rendimiento, modificar mencionados parámetros y mejorar el rendimiento en cuanto a consumo de combustibles y desempeño del motor del vehículo Mazda 929.

1.9.3. Método de medición

Este método es muy importante ya que se midió el desempeño antes y después de modificar el control electrónico del sistema de alimentación y encendido en el motor de combustión interna equipado con el módulo reprogramable RaceTec R1000.

1.9.4. Método experimental

Mediante metodología experimental se trabajó pruebas en el motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 para determinar el desempeño actual del motor, si existía algún defecto en su funcionamiento y así se estudió lo analizado más detalladamente

para implementar las modificaciones necesarias al control electrónico del sistema de alimentación y encendido.

1.9.5. Método observación directa

La observación es un método que fue puesto en marcha antes, durante y después de haber realizado el proyecto. Mediante la observación se pudo controlar que el proyecto se desarrolle de la manera correcta y acorde a lo planificado, además de la necesidad de observar la programación del control electrónico para su posterior modelado y obtener los parámetros más importantes e influyentes, útiles para su consideración en los siguientes mapeos.

1.9.6. Método de matematización

A través del uso de este método se aplicaron formulas y ecuaciones que permitieron obtener los diversos parámetros característicos del motor de combustión interna.

Tabla 3
Metodología

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se utilizó este método, ya que la investigación se realizó en el vehículo Mazda 929 equipado con un motor de combustión interna VC - 1800, en el cual se pudo analizar si el control electrónico del sistema de alimentación y encendido es el adecuado, después de haber	<ul style="list-style-type: none"> • Motor VC – 1800 del vehículo Mazda 929 • Laptop • Multímetro Mastech • RaceTec R1000 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica de la ESPE-L • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L

CONTINÚA 

Deductivo	<p>realizado modificaciones al mapeo del control electrónico. Dado que la investigación se enfoca en el estudio de los parámetros característicos del control electrónico del sistema de alimentación y encendido, se analizó la información que se generó para poder verificar el rendimiento, modificar mencionados parámetros y mejorar el rendimiento en cuanto a consumo de combustibles y desempeño del motor del vehículo Mazda 929. Este método es muy importante ya que se midió el desempeño antes y después de modificar el control electrónico del sistema de alimentación y encendido en el motor de combustión interna equipado con el módulo reprogramable RaceTec R1000.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor VC – 1800 del vehículo Mazda 929 • Laptop • Multímetro Mastech • RaceTec R1000 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica de la ESPE-L • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L
De Medición	<p>Mediante metodología experimental se trabajó pruebas en el motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 para determinar el desempeño actual del motor, si existía algún defecto en su funcionamiento y así se estudió lo analizado más detalladamente para implementar las modificaciones necesarias al control electrónico del sistema de alimentación y encendido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor VC – 1800 del vehículo Mazda 929 • Laptop • Dinamómetro de rodillos SAENZ • Analizador de gases Bran Bee 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica de la ESPE-L • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L
Experimental	<p>La observación es un método que fue puesto en marcha antes, durante y después de haber realizado el proyecto. Mediante la observación se pudo controlar que el proyecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor VC – 1800 del vehículo Mazda 929 • Laptop • Multímetro Mastech • RaceTec R1000 • Analizador de gases Brain Bee • Dinamómetro de rodillos SAENZ 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica de la ESPE-L • Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L
Observación Directa	<p>Mediante la observación se pudo controlar que el proyecto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor VC – 1800 del vehículo Mazda 929 • Laptop • Multímetro Mastech • RaceTec R1000 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica de la ESPE-L • Laboratorio de Motores de la ESPE-

CONTINÚA 

	<p>se desarrolle de la manera correcta y acorde a lo planificado, además de la necesidad de observar la programación del control electrónico para su posterior modelado y obtener los parámetros más importantes e influyentes, útiles para su consideración en los siguientes mapeos.</p> <p>A través del uso de este método se aplicaron formulas y ecuaciones que permitieron obtener los diversos parámetros característicos del motor de combustión interna.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Dinamómetro de rodillos SAENZ• Analizador de gases Brain Bee	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L
Matematizacion		<ul style="list-style-type: none">• Laptop	<ul style="list-style-type: none">• Laboratorio de Mecánica de Patio de la ESPE-L

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de carburador

En los motores de gasolina, la mezcla se prepara por medio de un carburador o en su lugar un equipo de inyección controlada electrónicamente. Hasta hace unos años, el carburador era el medio más común de dosificador de la mezcla en vehículos de turismo. Era un medio puramente mecánico. (Pardiñas, 2012, p. 82)



Figura 2. Carburador

No obstante, (Rodríguez, 2013) afirma que: “(...) aunque prácticamente ya no se usa en los vehículos actuales, habiendo sido sustituido por sistemas de inyección de gasolina, por ser estos últimos más eficientes y requerir menor mantenimiento.”

La preferencia de la inyección se debe a que aporta importantes ventajas en cuanto a potencia, consumo, comportamiento en marcha y de emisiones contaminantes. Las razones de estas ventajas radican en el hecho de que la inyección permite una dosificación mucho más precisa que el carburador. Además, se consigue una mejor

distribución de la mezcla ya que, mientras se asignaba, casi siempre, un único carburador para distribuir la mezcla a todos los cilindros, en la inyección electrónica (a excepción de la del tipo monopunto) cada cilindro lleva su propio inyector. (Pardiñas, 2012, p. 82)

2.1.1. Principio de funcionamiento

El carburador de la mayor parte de vehículos fabricados, está conformado únicamente por componentes mecánicos. En su interior posee una tobera que produce el efecto Venturi, debido a la disminución de la sección en este punto, en relación con la anterior, con la finalidad de producir un vacío y con ello el efecto de succión.

Según el principio de Venturi, cuando a través de una zona estrecha de un tubo pasa la misma cantidad de aire que en el resto del conducto, la velocidad del aire será mayor en ese punto más angosto y, por lo tanto, menor será la presión. Así, a, mayor velocidad del aire en el Venturi menor será la presión; y de ahí, precisamente, el origen del vacío generado en esa zona. Esta menor presión succiona el combustible y lo atomiza en forma de rocío debido al empleo de una esprea localizada justamente en el punto más angosto de la sección. Así, mientras más rápido pase el flujo de aire a través del Venturi, mayor será la cantidad de combustible entregada por la esprea, para mezclarla con la corriente del flujo de aire. (Benítez & Ochoa, 2009, p. 44)

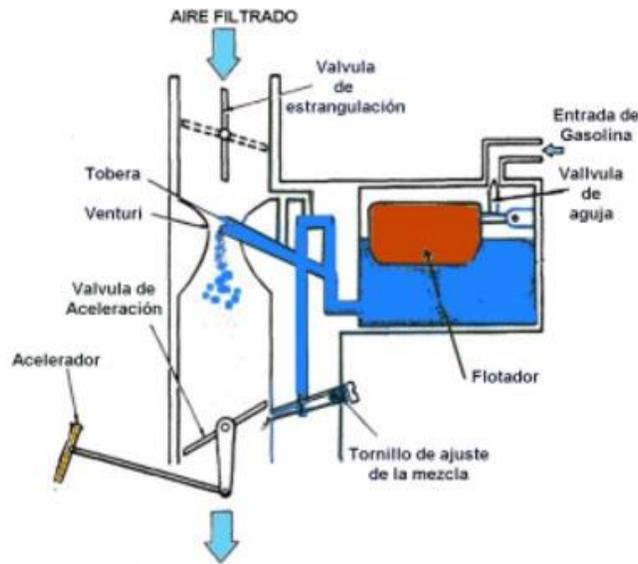


Figura 3. Funcionamiento de carburador
Fuente: (Pruebaderuta, s.f.)

2.1.2. Circuitos principales del carburador

(Crouse, 2005) explica que: “El carburador necesita varios sistemas o circuitos especiales que ayudan a ajustar la relación de aire – combustible para adecuarse a condiciones variables de operación.” (p. 289). Dichos sistemas se detallan a continuación:

a) Circuito de alta

El circuito de alta se desempeña cuando el motor está operando en su máximo régimen de revoluciones, con el estrangulador totalmente abierto. En esta situación el tamaño del Venturi se vuelve invariable, y la única manera de regular la proporción de la mezcla será reemplazando el chicler de alta por otro de mayor medida. El aire ingresa por dos conductos: la boca principal que se comunica con el filtro de aire, y otro más pequeño que corre paralelo al principal y desemboca en el surtidor, su función es

prepulverizar y homogeneizar la gasolina que sabe por el surtidor principal para entrar al venturi. (UsersLife, 2016, p. 15)

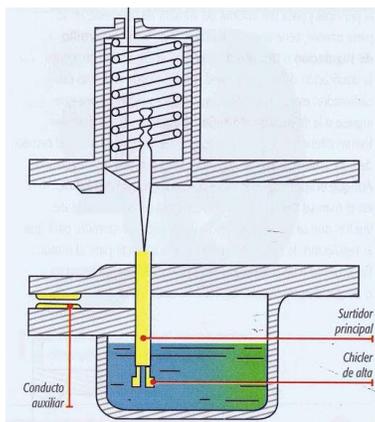


Figura 4. Circuito de alta
Fuente: (UsersLife, 2016)

b) Circuito de media

Entra en funcionamiento cuando el acelerador se encuentra entre la máxima apertura y totalmente cerrado. La regulación de la mezcla se determina por el tamaño variable del venturi. La aguja del surtidor principal define el caudal de gasolina que sube por él. (UsersLife, 2016, p. 16)

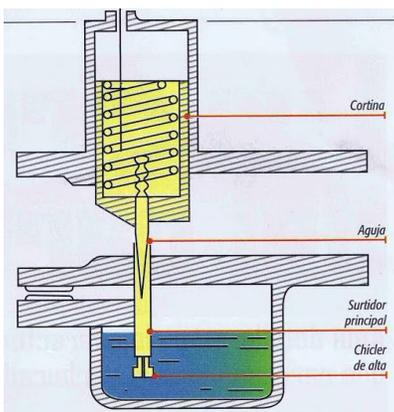


Figura 5. Circuito de media
Fuente: (UsersLife, 2016)

c) Circuito de baja

Interviene cuando el estrangulador está completamente cerrado y es independiente de los circuitos anteriores, pues la cantidad de mezcla necesaria para mantener encendido el motor es mínima. Toma aire por un conducto que corre paralelo al principal y pasa por encima del surtidor de baja, este en su parte inferior tiene un chicler de baja. Un tornillo de regulación se encargará de la dosificación de la mezcla. Dependiendo del diseño se puede regular la cantidad de aire o de gasolina (UsersLife, 2016, p. 16)

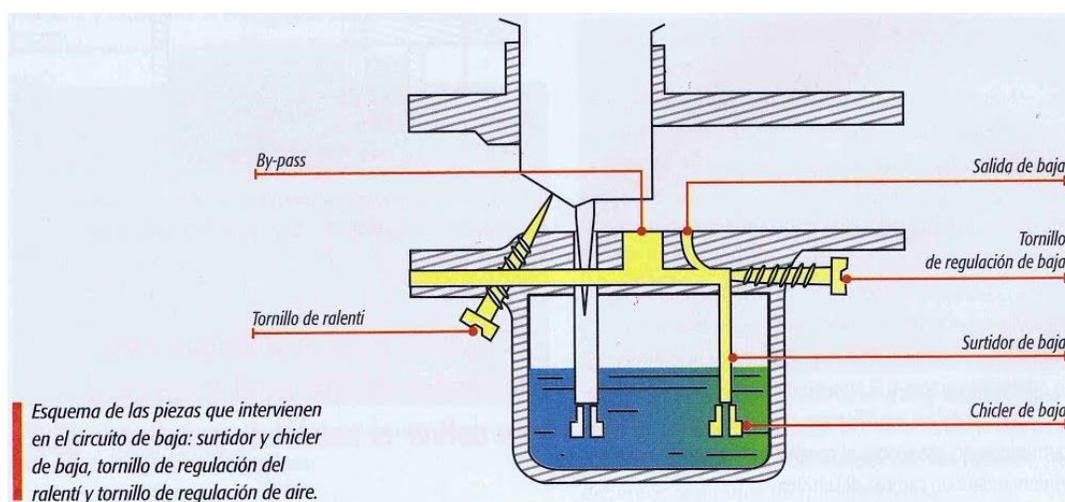


Figura 6. Circuito de baja

Fuente: (UsersLife, 2016)

d) Circuito de arranque

Tiene la función de enriquecer momentáneamente la mezcla hasta que el motor alcance su temperatura de funcionamiento, el sistema más común se compone por una mariposa similar a la del acelerador de los carburadores de depresión, que obstruye el

conducto de aire, enriqueciendo la mezcla. Al llegar a su temperatura de trabajo se debe desactivar. (UsersLife, 2016, p. 17)

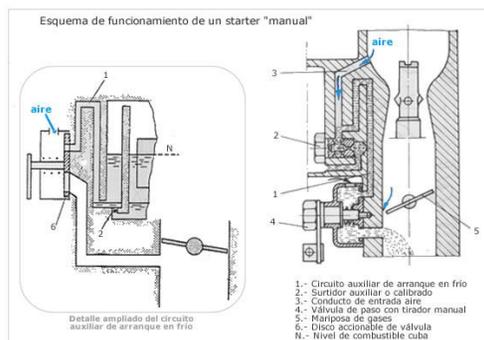


Figura 7. Circuito de arranque
Fuente: (Meganeboy, 2016)

e) Circuito de aceleración

Provee al cilindro una cantidad adicional de gasolina en el momento de una aceleración súbita, está compuesto esencialmente por una bomba de aceleración o de pique. Durante la aceleración rápida, la gasolina se retrasa, debido a que es más pesada que el aire, la bomba de pique entrega ese adicional de gasolina para compensar el inconveniente. (UsersLife, 2016, p. 18)

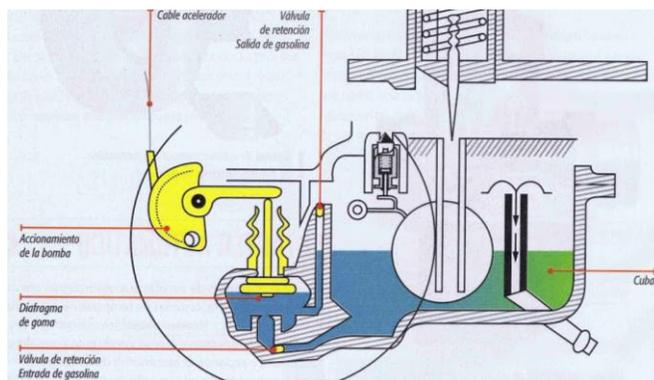


Figura 8. Circuito de aceleración
Fuente: (UsersLife, 2016)

2.1.3. Relación estequiométrica

Para que el proceso de combustión sea el adecuado en un motor en cuanto a consumo de combustible y máxima potencia generada se refiere, se necesita de una cantidad proporcional de combustible y comburente, además de ello los elementos producidos por la detonación deben ser los menores posibles para salvaguardar el medio ambiente.

La relación ideal de aire – combustible es la denominada relación estequiométrica. Para gasolina es de 14.7:1. Es ideal porque es la relación correcta de oxígeno en el aire e hidrocarburos en el combustible para producir la combustión completa o la más completa posible del combustible. Si la relación es inferior (14.0:1, por ejemplo), existe demasiado combustible para el oxígeno disponible. Si la relación es superior (16.0:1, por ejemplo) existe un exceso de oxígeno. (Crouse, 2005, p. 287)

Es así que al contar con una mezcla rica (exceso de combustible) producirá efectos contrarios que al tener una mezcla pobre (deficiencia de combustible) durante el proceso de combustión. Una proporción de aire-combustible excesivamente rica, brinda máxima potencia con un elevado consumo de combustible y produce ciertos gases contaminantes en exceso en el escape. Una mezcla que cumpla la relación estequiométrica de 14.7:1 entrega una potencia ligeramente menor a la máxima con un consumo reducido de combustible. Por otro lado, conforme la mezcla se hace más pobre, la potencia sigue reduciéndose, el consumo de combustible empieza a incrementar, no se quemará completamente y generará otros gases en el escape, también nocivos para el medio ambiente. (Crouse, 2005, p. 288)

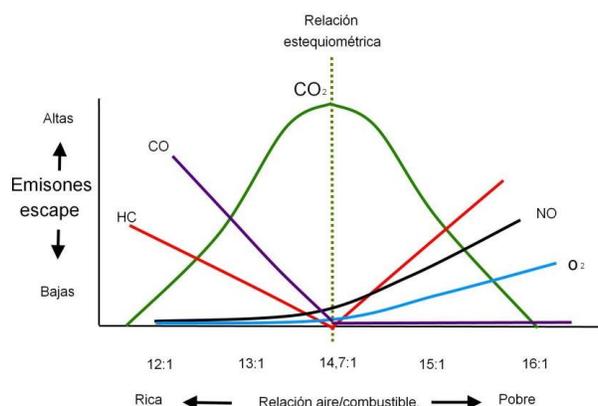


Figura 9. Relación estequiométrica
Fuente: (Bel, 2016)

2.2. Sistema de inyección electrónica

El constante desarrollo de cada uno de los sistemas que conforman un vehículo, ha permitido a los fabricantes alcanzar un nuevo método de suministro de combustible al motor, el sistema de inyección electrónica, con la finalidad de conseguir un decremento de los gases producidos durante la combustión, así como la optimización de la cantidad de gasolina necesaria para entregar la suficiente potencia a las ruedas.

La inyección electrónica es un sistema que reemplaza al carburador en los motores alimentados con gasolina, para dosificar el combustible y crear una mezcla de aire / combustible, lo muy próxima a la estequiométrica (14,7:1 para gasolina), lo que garantiza una muy buena combustión y con reducción de los porcentajes de gases tóxicos emitidos a la atmósfera. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009, p. 103)

2.2.1. Principio de funcionamiento

Al arrancar el vehículo, en el interior de sus cilindros, los pistones constantemente recorrerán desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior y un sensor se encargará de informar a la unidad de control electrónico (ECU) sobre la rotación del cigüeñal. En la carrera descendente efectuada por los pistones, se genera un vacío en el múltiple de admisión, el cual succiona el aire del exterior para luego pasar por un medidor, el mismo que cuantificará el volumen que ingresó al motor. (BOSCH, 2008, p. 5)

Seguidamente se informa a la unidad de control electrónico la cantidad de aire aspirada, y ésta, abrirá las válvulas de inyección con el fin de suministrar la medida de gasolina exacta necesaria para efectuar una combustión lo más limpia y completa. (HELLA GmbH & Co. KGaA, sf, p. 49)

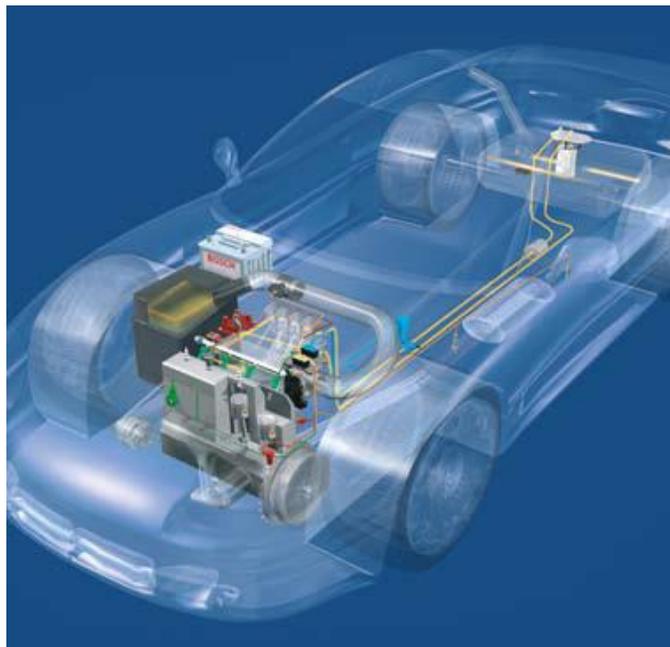


Figura 10. Sistema de inyección electrónica
Fuente: (BOSCH, 2008)

2.2.2. Tipos de sistemas de inyección

a) Inyección indirecta

Los sistemas de inyección indirecta entran en dos categorías, inyección en el cuerpo de aceleración (TBI) e inyección multipunto (MPI).

- La inyección en el cuerpo de aceleración (TBI), también conocida como inyección monopunto, involucra uno o dos inyectores, los cuales inyectan el combustible en el aire que fluye hacia la admisión. En los sistemas monopunto, el combustible y el aire son mezclados antes del cuerpo de aceleración, como en el sistema de alimentación convencional a carburador, sin embargo, este tipo de inyección ofrece una mejor eficiencia volumétrica y la relación aire – combustible es controlada electrónicamente. A pesar de ello, presenta una desventaja, debido a la ubicación del actuador, la dosificación no se entrega en partes iguales para cada cilindro, por las divisiones en el múltiple de admisión. (Pham, Vo, & Jazar, 2017, p. 703)

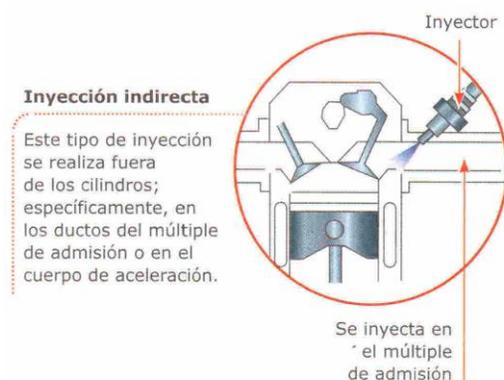


Figura 11. Inyección monopunto
Fuente: (Benítez & Ochoa, 2009)

- En un sistema de inyección multipunto (MPI), en cada cilindro es posicionado su propio inyector, el cual deposita la gasolina en la cámara de admisión. El calor del múltiple de admisión facilita la vaporización de la gasolina, la cual luego de mezclarse con el aire ingresa con gran velocidad dentro de la cámara de combustión. La corta distancia que recorre el combustible en este sistema, minimiza la cantidad de gasolina que se adhiere a las paredes del múltiple de admisión, como ocurre en el sistema TBI, incrementando la eficiencia volumétrica y reduciendo los niveles de gases contaminantes. El sistema MPI puede ser en base al número de inyecciones, clasificado en inyección simultánea, semi-secuencial, y secuencial. (Pham, Vo, & Jazar, 2017, p. 703)

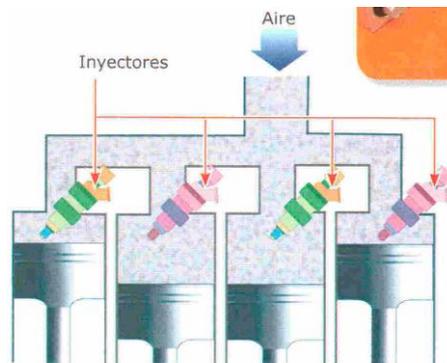


Figura 12. Inyección multipunto

Fuente: (Benítez & Ochoa, 2009)

- *Inyección simultánea.* – Todos los inyectores introducen al mismo tiempo el combustible en los cilindros; significa que todos se abren y se cierran de manera simultánea. (Benítez & Ochoa, 2009, p. 95)

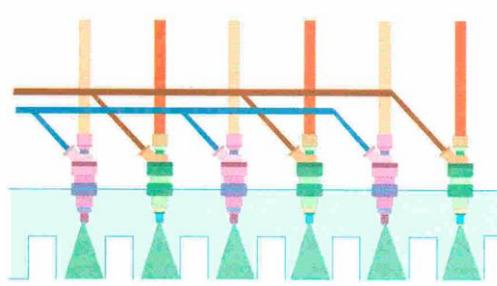


Figura 13. Inyección simultánea
Fuente: (Benítez & Ochoa, 2009)

- *Inyección semi-secuencial.* – El combustible es inyectado en los cilindros, de manera que los inyectores de dos cilindros se activan simultáneamente en el motor. (Benítez & Ochoa, 2009, p. 95)

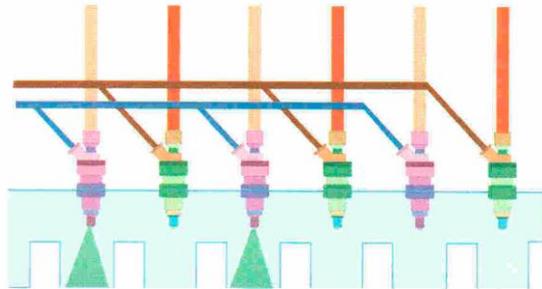


Figura 14. Inyección semi-secuencial
Fuente: (Benítez & Ochoa, 2009)

- *Inyección secuencial.* – La gasolina es inyectada en el cilindro con la válvula de admisión abierta; es decir, los inyectores funcionan de uno en uno y de manera sincronizada, únicamente cuando el combustible va a ser utilizado, optimizando su uso y significando una menor cantidad de gases en el escape y una mayor potencia. (Benítez & Ochoa, 2009, p. 95)

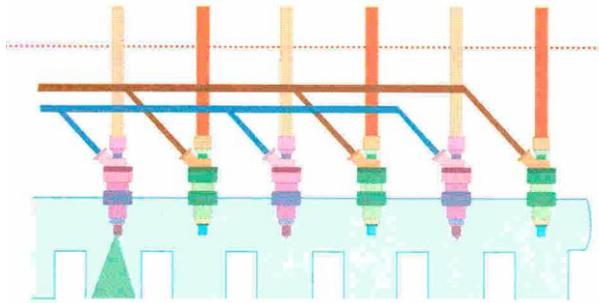


Figura 15. Inyección secuencial
Fuente: (Benítez & Ochoa, 2009)

b) Inyección directa

En su sistema menos evolucionado, la inyección indirecta, la mezcla de aire y combustible tenía lugar en el ducto de aspiración. Este tipo de inyección modifica el lugar donde es depositada la gasolina, pues como su nombre lo indica, se realiza directamente en la cámara de combustión, ofreciendo una reducción del consumo de combustible de hasta un 15%. (BOSCH, 2008, p. 13)

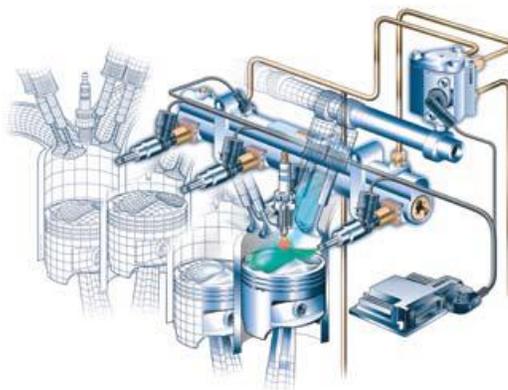


Figura 16. Inyección directa
Fuente: (BOSCH, 2008)

Una de las principales ventajas del sistema de inyección directa es el efecto de refrigeración que proporciona la entrega de combustible, pues representa una disminución de la temperatura del cilindro, lo que se traduce en el incremento de la eficiencia volumétrica, desaparición del golpeteo y en la facultad de trabajar con relaciones de compresión mayores. (Pham, Vo, & Jazar, 2017, p. 704)

2.2.3. Elementos del sistema

El sistema es controlado por la unidad de control electrónico (ECU), la cual recibe información sobre los parámetros de operación del motor como su temperatura, su velocidad de giro, su posición de giro, entre otros, los mismos que son monitoreados por sensores, para posteriormente generar señales de control que determinarán la respuesta de actuadores como los inyectores, la bobina, etcétera. (Erkis, Sürmen, & Karamangil, 2013, p. 512)

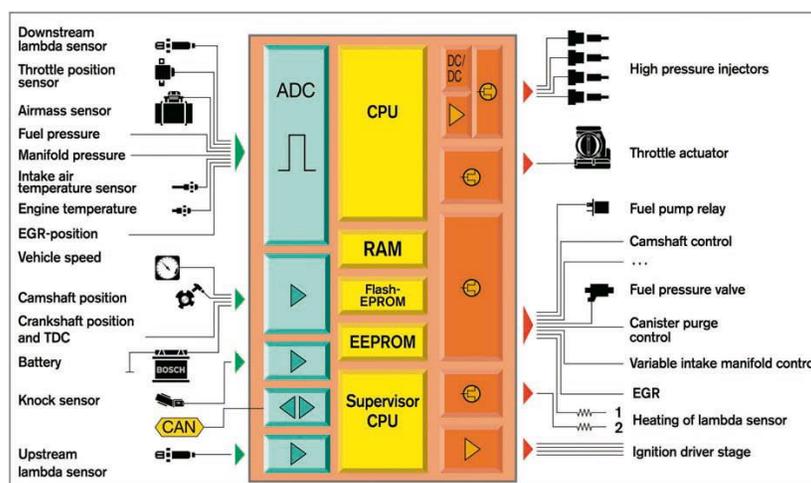


Figura 17. Elementos de la inyección electrónica
Fuente: (Hartman, 2013)

2.3. Sensores

Son componentes electrónicos que informan a la unidad de control electrónico el estado de las condiciones físicas del motor y del medio ambiente, que transforman una magnitud en una señal eléctrica de voltaje que puede estar comprendido entre 0.5 V y 4.5 V. (Bernal, sf, p. 58)

2.3.1. Sensor CKP

Es el encargado de determinar la posición del eje del cigüeñal para enviarla a la unidad de control y producir la ignición e inyección. Pueden ser de tipo inductivo, de efecto Hall, u ópticos; cada uno con un funcionamiento distinto, pero con la misma finalidad. (HELLA GmbH & Co. KGaA, sf, p. 22)



Figura 18. Sensor CKP
Fuente: (RaceTec, s.f.)

El de tipo inductivo genera una onda sinusoidal con una irregularidad cíclica producida por un faltante de dientes sobre la rueda fónica de excitación montada en el cigüeñal. El de efecto Hall genera una onda cuadrada con tantas señales como cilindros tenga el motor, producida por una campana con ventanas, sin embargo, en ciertos casos,

una de las señales es más grande que las demás, denotando el punto muerto superior (PMS) del cilindro uno. El de tipo óptico provee a la unidad de control la señal de régimen de giro y de punto muerto superior de los cuatro cilindros. (Luna, 2017, pp. 68 - 70)

2.3.2. Sensor CMP

El sensor de posición del árbol de levas, determina si un pistón que recorre hasta el punto muerto superior en el interior del cilindro, se encuentra en la fase de compresión o de escape. Es utilizado cuando hay altas exigencias en la exactitud del funcionamiento del sistema de inyección electrónica. (BOSCH, 2015, p. 12)



Figura 19. Sensor CMP
Fuente: (BOSCH, 2015)

2.3.3. Sensor MAP

El sensor de presión absoluta del múltiple de admisión determina la carga del motor. Una gran apertura de la mariposa de aceleración resulta en un incremento de la presión del aire de ingreso y con una elevada masa de aire admitida por cada ciclo, se consigue una mayor potencia de salida, debido a la compensación en la cantidad de combustible inyectada y el tiempo de ignición. (Pham, Vo, & Jazar, 2017, p. 706)



Figura 20. Sensor MAP
Fuente: (BOSCH, 2015)

2.3.4. Sensor TPS

El sensor de posición del acelerador es una de las entradas más críticas de la unidad de control en los sistemas de inyección electrónica, ya que, determina cuando el conductor está acelerando, desacelerando, estabilizando la carga, o liberando el pedal. Básicamente es un potenciómetro cuya resistencia varía en base a la cantidad de apertura de la mariposa de aceleración medida en grados. (Banish, 2007, p. 23)



Figura 21. Sensor TPS
Fuente: (RaceTec, s.f.)

2.3.5. Sensor ECT

El sensor de temperatura del refrigerante del motor es fundamentalmente un termistor, el cual, envía señales de voltaje a la unidad de control, según su modo de

operación, pues pueden ser del tipo NTC o PTC, siendo el primero el más común, que elevará la resistencia del sensor cuando la temperatura del refrigerante sea menor.

Según (Crouse, 2005), afirma que: “La señal enviada por el ECT hacia la unidad de control, incrementará el ancho de pulso de inyección en un motor frío, añadiendo combustible al proceso de combustión.” (p. 324)



Figura 22. Sensor ECT
Fuente: (BOSCH, 2015)

2.4. Actuadores

Son denominados actuadores a los componentes que reciben los comandos de la unidad de control según la programación del fabricante, para controlar los diferentes parámetros de inyección electrónica, como el volumen de combustible inyectado, el avance de encendido, la marcha mínima, entre otros. (Bernal, sf, p. 59)

2.4.1. Bobina

Recibe la corriente de la batería del vehículo, funcionan según el principio del transformador. Básicamente están compuestas de un bobinado primario, un bobinado secundario, un núcleo de hierro compuesto por finas hojas de acero, una carcasa con material de aislamiento. Dependiendo del sistema se puede encontrar sistemas de

encendido con una sola bobina, con una bobina para cada par de cilindros, o con bobinas individuales. (Federal - Mogul Motorparts, sf, p. 5)

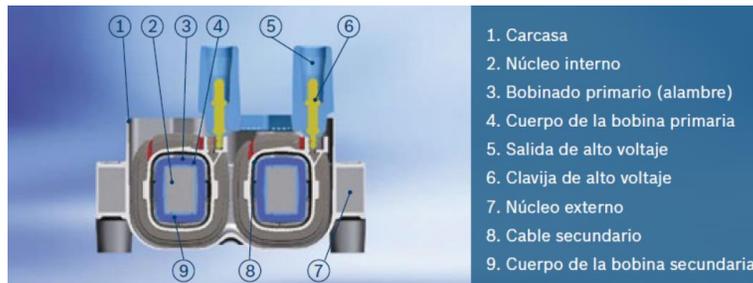


Figura 23. Bobina DIS y sus partes

Fuente: (BOSCH, 2015)

2.4.2. Bomba de combustible

Se encarga de mover la gasolina desde el reservorio hacia todos los componentes involucrados con el sistema de alimentación, debe suministrar una presión de 3 bares, comúnmente es posicionada en el interior del depósito con la finalidad de reducir el ruido durante su funcionamiento y aportar a su refrigeración; sin embargo, también existen bombas que no son instaladas en el interior del tanque de combustible. (González, 2015, p. 371)



Figura 24. Bomba de combustible

Fuente: (BOSCH, 2008)

2.4.3. Inyectores

Es el componente principal del sistema de inyección, pues es el encargado de proporcionar el combustible necesario para el proceso de combustión. Independientemente del tipo de inyección, ubicación o cantidad de inyectores; posee una boquilla la cual puede estar conformada por uno o varios orificios a través de los cuales se rocía la gasolina, estos agujeros permanecerán cerrados por una válvula de aguja que actúa por acción de un resorte. La unidad de control electrónico calcula el tiempo que permanecerá abierto el paso de gasolina para depositar la cantidad exacta con el fin de mantener una mezcla estequiométrica. (Penninger, Lezsovits, Rohály, & Wolff, 2006, p. 68)

La prioridad y función principal de todo sistema de inyección es proporcionar la cantidad correcta de combustible al aire de entrada. El inyector es básicamente una válvula que es accionada por un electroimán que permite el paso de la gasolina. La elevada presión del sistema hace que el riel de combustible alimente la parte alta del inyector. Cuando éste es accionado, la fuerza del electroimán empuja hacia arriba un perno, liberando sus diminutos agujeros para permitir el paso de la gasolina hacia el múltiple de admisión. (Banish, 2007, p. 36)



Figura 25. Inyector
Fuente: (BOSCH, 2008)

2.4.4. Regulador de presión de combustible

El propósito esencial del regulador es controlar la presión del combustible en todo el sistema de alimentación, inclusive en las válvulas de inyección para crear un diferencial constante de la presión. (Song & Kwon, 2011, p. 331)

El regulador de presión consiste en una válvula de alivio compuesta por un muelle, un diafragma y una válvula, su finalidad es mantener la presión aplicada al inyector, 2.85 bares más que la presente en el múltiple de admisión. La aplicada en la parte superior de la cámara del regulador es el vacío en el múltiple de admisión, y en la parte inferior del regulador se encuentra la presión del combustible. Cuando la presión del combustible incrementa a más de 2.85 bares en relación al vacío en el múltiple de admisión, el combustible empuja la válvula que hay en su interior y el exceso de gasolina es enviado por la línea de retorno hacia el depósito. (Gupta, Kandari, Rajput, Asif, & Singh, 2013, p. 642)

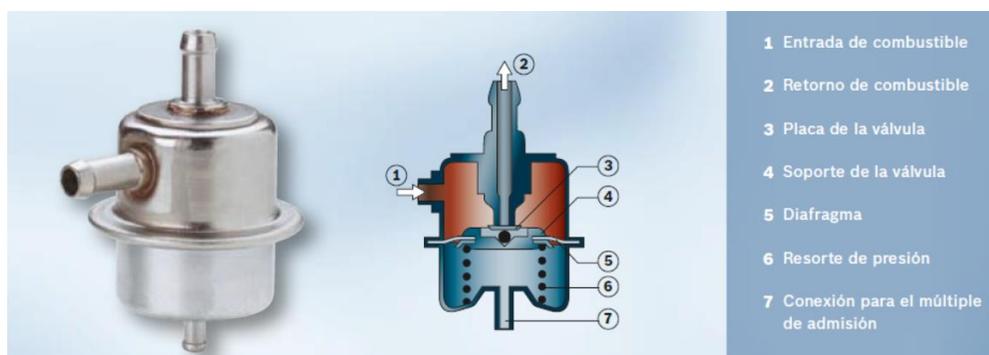


Figura 26. Regulador de presión

Fuente: (BOSCH, 2008)

2.5. Cuerpos de aceleración individuales

La fabricación de este tipo de estranguladores está orientada a vehículos de alto rendimiento y exigencias, puesto que se consigue un incremento de la velocidad de ingreso de aire, por lo tanto, también de la presión de admisión, alcanzando un llenado de los cilindros más eficiente. (Núñez & Tite, 2013, p. 17)

Los cuerpos de aceleración individuales o independientes (ITB) no tienen un área de admisión en común, en lugar de ello, cada corredor de ingreso y cada mariposa está aislada de las demás, para cada cilindro del motor. El área de apertura dictada por las aletas de aceleración indica el flujo de masa de aire, y debe ser similar para cada cámara. La apertura de cada estrangulador debe estar perfectamente balanceada en relación a las demás para obtener una cantidad de ingreso lo más equilibrada posible. (United States Patent No. US 8.375.777 B2, 2013, pp. 2-5)



Figura 27. Tomas de vacío en cada estrangulador

Los cuerpos de aceleración individuales tienen un corredor separado para cada cilindro, y cada cilindro tiene su propio estrangulador. Debe contar con un común que

suministra aire a cada uno de los cuerpos (en caso de que el auto cuente con algún tipo de sobrealimentación) o en lugar de ello simplemente emplear un filtro de aire o una corneta de aire en cada entrada. Este tipo de colectores permiten seleccionar la longitud más efectiva de las cornetas para cada corredor. Ofrecen el potencial para una respuesta inmediata del acelerador. Sin embargo, este tipo de admisión tiende a ser costoso, y pueden llegar a significar un reto más complicado al momento de calibrar la ECU para quienes no tienen experiencia. (Cramer & Hoffman, 2010)

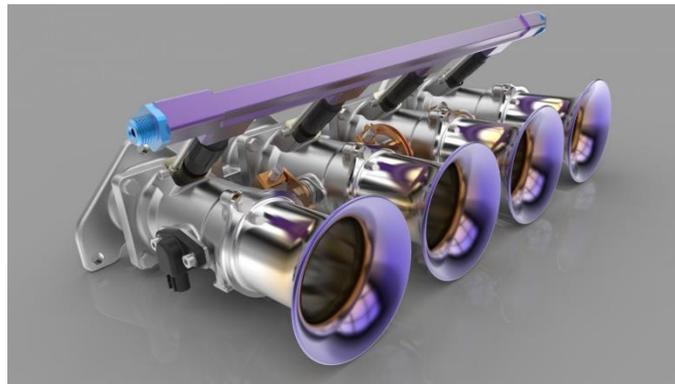


Figura 28. Cuerpos de aceleración individuales
Fuente: (Cabura, 2016)

2.6. Unidad de control electrónico

El componente principal de todo sistema de inyección electrónica es la unidad de control electrónico (ECU), de ella dependerá la interpretación de las señales emitidas por los sensores para un comportamiento correcto de los actuadores que intervienen en el proceso de combustión.

Los motores en la actualidad son equipados con un sistema de inyección electrónica de combustible controlado por una unidad de control electrónico. El rendimiento del vehículo es afectado de manera significativa por la configuración

de los parámetros de control de la ECU y por la selección de componentes en el interior del motor. Para incrementar la potencia es necesaria una modificación en las partes del motor y la configuración del módulo de control, con la finalidad de alcanzar un performance óptimo basado en los diferentes requerimientos del conductor. En la práctica, el ajuste del rendimiento involucra un compromiso entre el torque máximo del motor, el menor consumo de combustible y la mínima cantidad de emisiones por el escape. Los parámetros de la ECU como el tiempo de inyección de combustible y el momento de ignición son calculados por numerosas variables. (Wong, Tam, & Li, 2012, p. 300)



Figura 29. ECU
Fuente: (BOSCH, 2008)

2.6.1. Estructura de la unidad de control electrónico

La unidad de control electrónico (ECU) está basada en uno o dos microcontroladores, los cuales consisten en:

a) Microprocesador

Contiene la unidad central de procesamiento (CPU) y tiene una propia unidad de control para la ejecución de instrucciones desde la memoria del programa y una unidad lógica (ALU) para trabajar operaciones aritméticas y lógicas. El CPU ejecuta el flujo de

control con la administración de direcciones y un decodificador de comandos. El procesamiento sucede en un ciclo (10 ns por 100 MHz) hacia la memoria externa. (Isermann, 2014, p. 275)

b) Memorias

Los microprocesadores operan con memorias volátiles y no volátiles. Las memorias de acceso aleatorio (RAM) son volátiles de escritura/lectura y forman parte del microprocesador como su memoria principal. Su contenido se pierde si se deja de suministrar voltaje. La RAM estática (SRAM) retiene la información hasta que es sobre escrita o hasta que deja de ser alimentada. La RAM dinámica (DRAM) tiene un menor consumo de energía, pero debe reescribirse después de leer y referir ciertos intervalos de tiempo para compensar su auto descarga. (Isermann, 2014, p. 275)

Las memorias de sólo lectura (ROM) son no volátiles. Almacenan toda la programación del fabricante y datos que no se modificarán y son retenidos incluso en ausencia de voltaje. Se aplica también la memoria programable de solo lectura (PROM) si puede ser programada por el usuario. Algunos tipos de memoria de solo lectura pueden ser borradas y programadas nuevamente. Las memorias borrables de solo lectura (EPROM) solo pueden deshacer su programación con radiación UV y nuevamente programadas. Las memorias eléctricamente borrables (EEPROM) pueden ser borradas eléctricamente y reprogramadas en la ECU con un dispositivo separado. Una ventaja es que cada línea de memoria puede ser individualmente reescrita. Las memorias Flash EPROM permiten ser borradas o flasheadas completamente por pulsos eléctricos y ser programadas nuevamente usando un dispositivo de programación. Si este tipo de

memoria es parte de la ECU, el flasheo puede ser aplicado a bordo. (Isermann, 2014, p. 276)

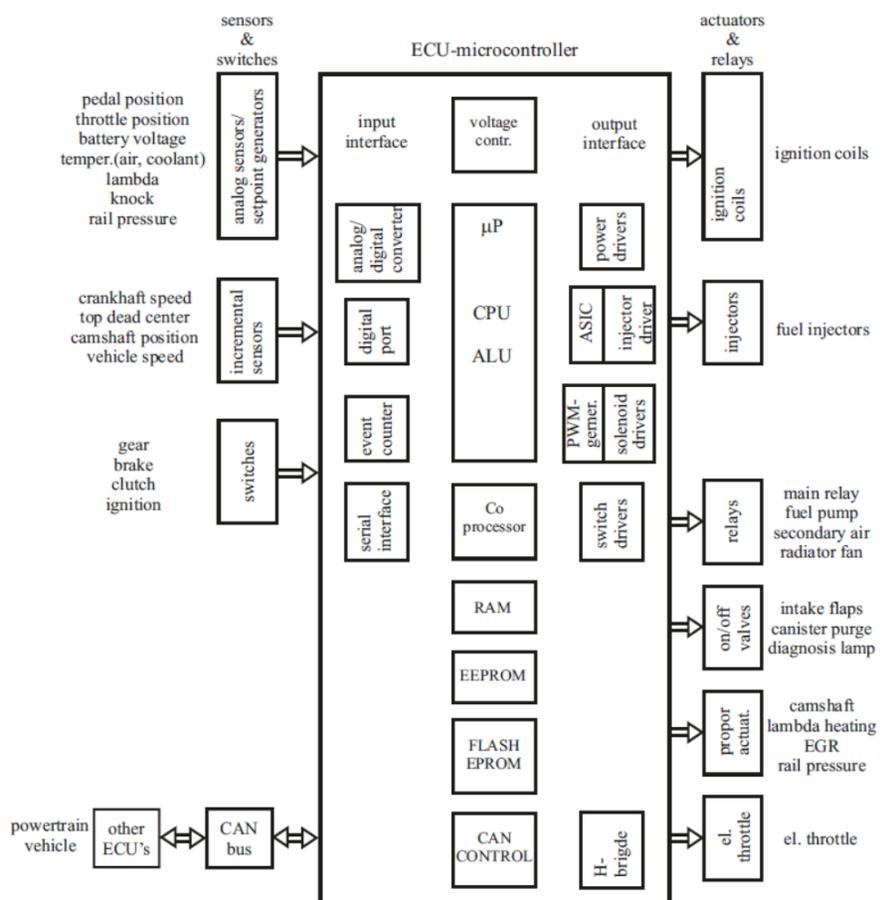


Figura 30. Estructura de una ECU

2.7. Reprogramación de la ECU

(Díaz & Sopa, 2013) manifiesta que: “Según la necesidad y la utilidad de reprogramar una unidad de control electrónica, existen tres métodos de reprogramación:

- Flasheo de memorias
- Reprogramación de ECU standard
- Reprogramación de ECU programable”

2.7.1. Flasheo de memorias

Los vehículos nuevos incluyen una gran variedad de módulos destinados a monitorear y gestionar todos los sistemas de control electrónicos, como el módulo de control del motor (ECM), el módulo de control de la transmisión (TCM), el sistema antibloqueo de frenos (ABS), entre otros. (Díaz & Sopa, 2013, p. 14)

Cada uno de ellos es programado desde fábrica con software que permite realizar ciertas funciones. Como por ejemplo dentro de la ECM hay un software que contienen cientos o incluso miles de parámetros para controlar el salto de chispa, la cantidad de combustible, velocidad de cruce, control de las emisiones contaminantes y el rendimiento. (Díaz & Sopa, 2013, p. 14)

La práctica de la actualización de software en estos módulos es conocida como reprogramación flash. En los concesionarios la reprogramación flash de automóviles nuevos es relativamente sencillo, debido a que los técnicos de servicio están enlazados con la base de datos del fabricante y cuentan con herramientas especializadas dedicadas a la reprogramación. (Semanate, 2016, p. 53)

a) Flasheo vía OBD

Al emplear herramientas de reprogramación y flasheo de módulos electrónicos por OBD, es importante que la alimentación de 12 V a la batería del vehículo se mantenga estable, en algunos casos se utiliza una fuente externa de alimentación que provea 12 V a la batería; la conexión entre módulo y vehículo se deberá realizar a través de un cable OBD. De esta manera se tendrá acceso a los parámetros de afinación del motor, flasheo

de memoria y a la programación de nuevas variables de funcionamiento de la ECU.
(Chontasi & Vinlasaca, 2018, p. 38)

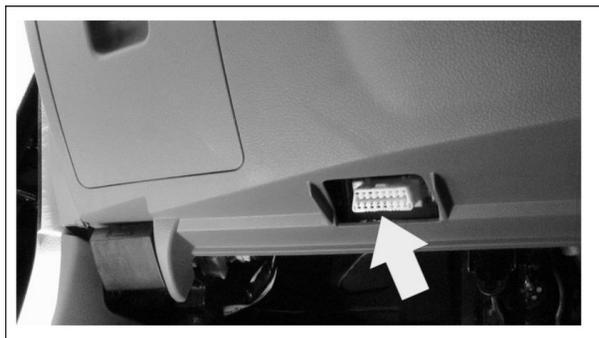


Figura 31. Puerto OBD2
Fuente: (Hernandez, 2017)

b) Flasheo vía BDM

El acceso al terminal BDM se obtiene al retirar la ECU del vehículo y desmontar su carcasa. Al recibir una alimentación de 12 V constantes hace que el método de flasheo por vía puerto BDM sea de los más seguros, ya que no al no existir el riesgo de corte de alimentación hace posible que el flasheo se lo pueda realizar una y otra vez de manera ininterrumpida. Este método se lo utiliza también en condiciones cuando el flasheo por OBD ha sido realizado incorrectamente. (Chontasi & Vinlasaca, 2018, pp. 38, 39)



Figura 32. Socket de la ECU
Fuente: (Starconnect, s.f.)

c) **Flasher J2534**

Desde el 2004, la Agencia de Protección Ambiental ordenó que todos los autos fabricados en los Estados Unidos cuenten con el estándar SAE J2534 "PassThru", la cual consiste en una interfaz de programación de aplicaciones para comunicarse con los buses internos de la ECU. (Checkoway, et al., 2011, p. 7)

El flasher J2534 utiliza los archivos de calibración suministrados por el fabricante, disponible en sus respectivas páginas web para realizar esta función directamente en su tienda. De paso a través de la tecnología también se libera la herramienta de análisis de diagnóstico de vehículos rentables. El sistema es ideado por dos partes independientes: la suscripción de software y una interfaz PassThru para vehículos compatibles con el estándar SAE J2534. (Fernandez, 2010)

2.7.2. Reprogramación de ECU standard

La reprogramación de una ECU standard se la puede realizar de dos maneras, con el módulo instalado en el vehículo, conocida como onboard y retirando el módulo para trabajar desde una mesa de trabajo con un cable especial y fuente de alimentación llamada offboard.... La única manera de garantizar que todos los módulos sean reprogramados, es la reprogramación de la computadora mientras está instalada en el coche. (Skala, 2008)

Al momento de realizar una reprogramación onboard u offboard el voltaje que se suministra al módulo no debe caer de 11.5 V. Si durante la reprogramación onboard el

voltaje de la batería disminuye, corre el riesgo de que el módulo quede inservible, por lo que esta operación se la realiza con el switch de ignición cerrado para evitar el consumo de energía. (Augeri, 2015)

2.7.3. Reprogramación de ECU programable

Las ECU programables, son aquellas que pueden ser modificadas como consecuencia de un cambio de algún componente del vehículo, debiendo ser programado de nuevo para poder configurarse correctamente el comportamiento y rendimiento adecuado del automóvil. Estas unidades más modernas pueden ser modificadas estableciendo una conexión con un portátil, en el cual se puede visualizar todas las características de funcionamiento del mismo y podrá modificarse, ciertos parámetros como la cantidad de combustible que se debe inyectar en el motor, la mezcla correcta de oxígeno y combustible o distintos parámetros claves necesario en el vehículo. (Panadero, 2012).

Existe una infinidad de parámetros que se pueden modificar, ajustando así los valores de manera completamente específica, desde la ignición, límite de revoluciones, la correcta temperatura del agua, alimentación de combustible temporal, modificación de baja presión en el combustible, sensor de oxígeno o sonda lambda, entre otros. Todo esto no sólo es válido para conseguir potencia extra a base de reprogramación, además se tiene la facultad de disminuir el consumo de combustible o configurar un nuevo mapeado para controlar la emisión de gases contaminantes. (Panadero, 2012)



Figura 33. RaceTec R1000

2.8. Parámetros característicos del motor de combustión interna

Para establecer un punto de partida en el proceso de reprogramación de la ECU se debe tener en cuenta el concepto de los parámetros más importantes que determinan el funcionamiento del motor.

Según (IDAE, 2011) “El funcionamiento de un motor tiene como objetivo fundamental la extracción de la energía almacenada en el carburante en forma química y su transformación en energía mecánica, para la realización de un trabajo.” (p. 29)

2.8.1. Potencia

(Crouse, 2005) Afirma que: “La potencia del motor es la potencia disponible en el cigüeñal para hacer trabajo. Se puede calcular la potencia en caballos de fuerza si se conoce el par de torsión del motor y la velocidad (en rpm). La fórmula para calcularla es:

$$hp = \frac{\text{par de torsión} * rpm}{552}$$

Ecuación 1: Potencia

Fuente: (Crouse, 2005)

Esta fórmula es utilizada al medir el rendimiento el motor utilizando un dinamómetro de chasis o de motor. Debido a la forma en que se calculan los caballos de fuerza y el par de torsión, los caballos de fuerza son iguales a la velocidad del motor de 5252 rpm. El caballo de fuerza es igual a la mitad del par de torsión a 2626 rpm.” (p. 82)



Figura 34. Curva de torque y potencia

Fuente: (Hartman, 2013)

a) Potencia indicada

Es aquella que el motor de combustión interna desarrolla en el interior de los cilindros durante el proceso de combustión, se la puede medir mediante un dispositivo que toma las presiones de manera continua en el interior de los cilindros. (Crouse, 2005)

$$N_i = \frac{P_i * i * Vh * n}{30 * \tau}$$

Ecuación 2: Potencia indicada

Fuente: (Crouse, 2005)

Donde:

N_i es la potencia indicada

P_i es la presión media efectiva

i es el número de cilindros

Vh es la cilindrada unitaria

n es la velocidad de giro del cigüeñal

τ es el número de tiempos que cumple el ciclo

b) Potencia efectiva

(González, 2015) explica que: “La potencia obtenida a partir del freno dinamométrico del banco de pruebas se conoce como potencia efectiva del motor (N_e) a un determinado régimen y carga del motor, siendo la potencia útil disponible en el cigüeñal” (p. 46)

2.8.2. Torque

En un vehículo hay que diferenciar dos tipos de torque o pares principales:

a) El par motor

Es desarrollado por el motor en cada instante y medido al final del cigüeñal, volante de inercia o primario del embrague. Se genera por la combustión del carburante en los cilindros, entonces, cuanto más apertura se brinde al acelerador, el par será mayor. (IDAE, 2011, p. 29)

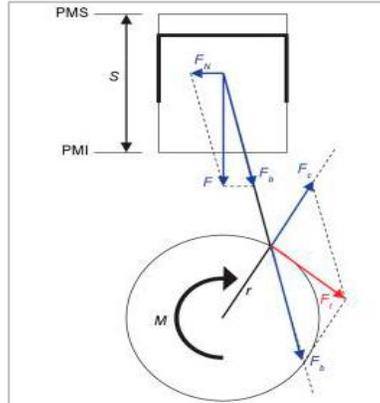


Figura 35. Biela - manivela

Fuente: (González, 2015)

b) El par en rueda

Según (IDAE, 2011): “Es el torque aplicado en la rueda, proporcionando la fuerza de tracción que será la que realmente mueva al vehículo. Es diferente al par motor, ya que la caja de cambios se encarga de multiplicarlo.” (p. 29)

El torque máximo, que habitualmente proporcionan los fabricantes, es la máxima fuerza de giro que puede entregar el motor, sin embargo, únicamente se da cuando el motor está funcionando a plena carga, con el acelerador abierto completamente, en un régimen de revoluciones intermedio donde la combustión es completamente optimizada. (IDAE, 2011, pp. 29, 30)

2.8.3. Consumo de combustible

(IDAE, 2011) Manifiesta que: El funcionamiento del motor de un vehículo implica un consumo de carburante, el ser inyectado en los cilindros en litros durante un tiempo medido en horas, la unidad de caudal de combustible sería litros/hora; sin embargo, para

vehículos de carretera, cuya finalidad es mover cargas o personas un cierto número de kilómetros, se utilizan litros por cada 100 kilómetros (l/100 km) o a su vez kilómetros por litro. (p. 24)

2.8.4. Consumo específico de combustible

(González, 2015) afirma que: “El consumo específico es el gasto másico de combustible que tiene el motor en determinadas condiciones de funcionamiento por cada kW de potencia entregado y por cada hora de funcionamiento.

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e}$$

Ecuación 3: Consumo específico de combustible

Fuente: (González, 2015)

Donde:

c_e es el consumo específico, en $\frac{g}{kWh}$ o $\frac{kg}{kWh}$

\dot{m}_f es la masa de combustible consumida por unidad de tiempo, en $\frac{g}{h}$ o $\frac{kg}{h}$

N_e es la potencia efectiva, en kW

2.8.5. Presión media efectiva

La presión media efectiva se traduce en trabajo debido a que gran parte de la presión de los gases se invierte en vencer rozamientos, por lo que, es el parámetro encargado de medir el nivel de aprovechamiento de la energía de los gases producidos por la combustión. (González, 2015, p. 47)

Para calcular la presión media efectiva se debe emplear la fórmula:

$$pme = \frac{N_e}{V_t * n * i}$$

Ecuación 4: Presión media efectiva

Fuente: (González, 2015)

Donde:

N_e es la potencia efectiva, en W, kW o CV

V_t es la cilindrada total, en cm^3

n equivale al régimen de giro del motor, en rpm

i es el número de ciclos por cada revolución

2.8.6. Rendimiento mecánico

Todo el trabajo realizado por los gases durante el ciclo de expansión no está disponible en el cigüeñal para ser utilizado, ya que parte de este trabajo es invertido en el llenado y vaciado de los gases en el cilindro. Además, existen pérdidas en el movimiento alternativo del pistón. (Madrrián, 2015, p. 47)

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$$

Ecuación 5: Rendimiento mecánico

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

η_m es el rendimiento mecánico

N_e es la potencia efectiva

N_i es la potencia indicada

Las pérdidas de energía de origen mecánico se deben al rozamiento interno de las diversas partes del motor y las debidas al gasto de potencia para los servicios auxiliares de las bombas de aceite, de agua y el alternador. Dicha energía perdida, se disipa finalmente a través del radiador de aceite o del radiador de refrigerante, rondando un 15% de la energía del combustible. (IDAE, 2011, p. 31)

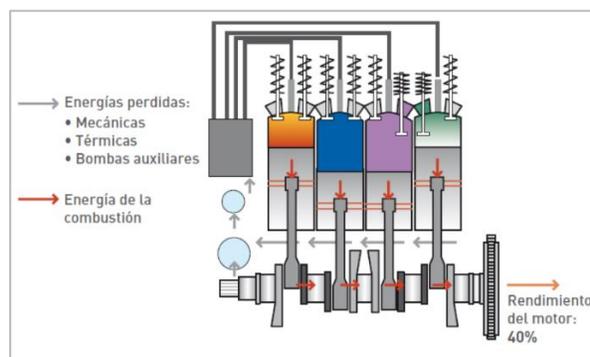


Figura 36. Balance energético del motor
Fuente: (IDAE, 2011)

2.8.7. Rendimiento térmico

Es la relación entre la potencia producida y la energía que posee el combustible quemado para producir dicha potencia. Parte del calor producido por la combustión es eliminado por los sistemas de lubricación y de enfriamiento del motor. Parte del calor se pierde en los gases calientes del escape al salir de los cilindros. Todas esas pérdidas de calor (térmicas) reducen el rendimiento térmico del motor, ya que únicamente utiliza el calor restante para producir potencia. (Crouse, 2005, p. 84)

$$\eta_t = 1 - \frac{T_b - T_a}{T_z - T_c}$$

Ecuación 6: Rendimiento térmico
Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

η_t es el rendimiento térmico

T_b es la temperatura de expansión, en ° K

T_a es la temperatura de admisión, en ° K

T_z es la temperatura de combustión, en ° K

T_c es la temperatura de compresión, en ° K

Por su parte, (IDAE, 2011) manifiesta que: “Las pérdidas de energía de origen térmico tienen lugar en el sistema de refrigeración, el cual se encarga de mantener las piezas internas del motor a una temperatura adecuada para su funcionamiento, por lo que, aproximadamente el 30 % de la energía extraída del combustible se pierde en forma de calor disipado a través del sistema de refrigeración; y también en los gases de escape, los cuales al salir se encuentran a temperaturas elevadas (400 – 500 °C), llevándose consigo casi un 30 % de la energía del carburante” (p. 31).

2.8.8. Rendimiento indicado

(González, Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos, 2015) menciona lo siguiente: “La eficiencia o rendimiento indicado es empleada para conocer el grado de aprovechamiento del combustible en relación a la potencia obtenida”. (p. 37)

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_1}$$

Ecuación 7: Rendimiento indicado

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

η_i es el rendimiento indicado

L_i es el trabajo indicado

Q_1 es la cantidad de calor suministrado

2.8.9. Rendimiento efectivo

(González, 2015) manifiesta que: “El rendimiento efectivo de un motor mide el grado de aprovechamiento del motor en relación al combustible empleado, es decir, relaciona la potencia efectiva empleada con la potencia del combustible” (p. 51)

$$\eta_e = \eta_m * \eta_i$$

Ecuación 8: Rendimiento efectivo

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

η_e es el rendimiento efectivo

2.8.10. Rendimiento volumétrico

El aire que es admitido por el motor debe recorrer y vencer numerosos obstáculos como el ducto de admisión, el filtro de aire, el múltiple de admisión, el estrangulador del cuerpo de aceleración, las válvulas de admisión, entre otros. Todos ellos afectan al rendimiento del motor al impedir que el cilindro sea llenado en su totalidad cuando el pistón completa su recorrido desde el PMS hasta el PMI en la fase de admisión, es por eso, que para obtener el rendimiento total del motor se debe tomar en consideración la eficiencia volumétrica. (Madriñán, 2015, p. 50)

Por lo que (Sanz, 2011) define al rendimiento volumétrico como: “La relación entre la masa de gas que es introducida al cilindro en un ciclo y la masa que teóricamente cabe en el volumen del cilindro” (p. 70)

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} * \frac{P_a}{P_o} * \frac{T_o}{T_a(1 + \gamma_r)}$$

Ecuación 9: Rendimiento volumétrico

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde:

η_v es el rendimiento volumétrico

ε es la relación de compresión

P_a es la presión de admisión

P_o es la presión atmosférica

T_o es la temperatura ambiente

γ_r es el coeficiente de gases residuales

2.8.11. Rendimiento total

Según (Crouse, 2005): “En el vehículo se pierde energía en cada uno de los pasos, desde la combustión del combustible, hasta el hacer girar las ruedas motrices. La siguiente figura muestra que el vehículo es propulsado por aproximadamente 20 % de la energía del combustible. Ésta se utiliza para superar la resistencia al rodamiento y la resistencia del aire.

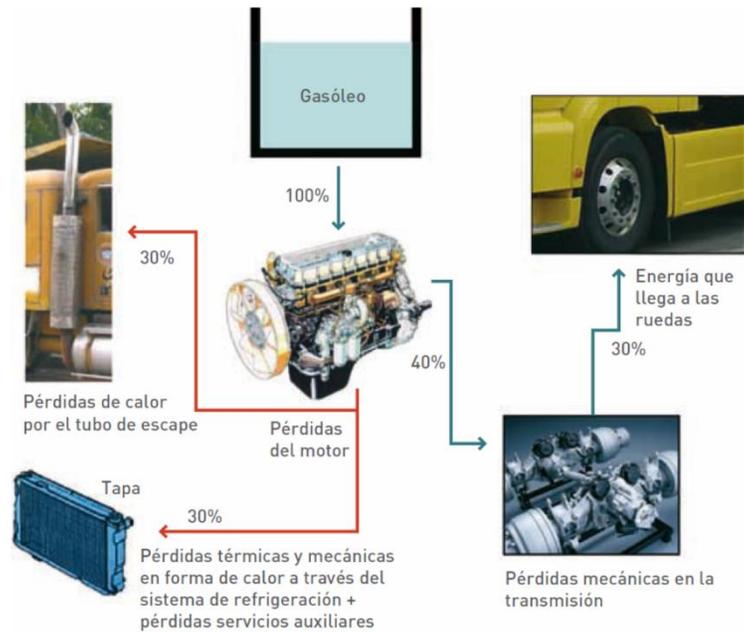


Figura 37. Pérdidas de energía del motor
Fuente: (IDAE, 2011)

a) Resistencia al rodamiento

Ésta es el total de las fuerzas que frenan y consumen energía conforme el vehículo se mueve sobre sus llantas en rodamiento. Incluye la resistencia al movimiento del vehículo debido a la fricción en los cojinetes de las ruedas en el remolino de aire creado por las ruedas, la flexión de los neumáticos y las irregularidades del camino.

b) Resistencia del aire

Ésta es la resistencia del aire al paso de la carrocería del vehículo a través del mismo. La resistencia del aire aumenta conforme incrementa la velocidad del vehículo, sin embargo, a velocidades bajas, dicha resistencia sigue siendo significativa. Es así que

a 90 mph (145 km/h), prácticamente el 75 % de la potencia que llega a las ruedas es utilizada para superar la resistencia del aire.

La resistencia del aire se mide como coeficiente de arrastre (C_d). Mientras este parámetro sea menor, tanto menos combustible debe quemarse para mover el vehículo a través del aire. Los vehículos nuevos tienen bajos coeficientes de arrastre de 0.35 o menos.” (pp. 84, 85)

2.8.12. Emisiones contaminantes

Los motores pequeños de gasolina, son conocidos por ser grandes emisores de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), y partículas de masa (PM) en relación a motores más grandes. Las razones pueden sintetizarse como sigue: (i) tecnología y manejo simple del motor; (ii) sencilla o ausencia de sistemas post tratamiento debido a limitaciones de seguridad y tamaño; (iii) demanda inmediata de máxima potencia, lo que llama a una combustión rica en gasolina, resultando en un elevado consumo de combustible y emisiones debido a la combustión incompleta; (iv) grandes cantidades de combustible extraído sin quemar y gotas de aceite lubricante en el escape (principalmente en motores de dos tiempos); (v) legislación menos rigurosa (en relación a vehículos montados con motores más grandes), en términos de número de componentes monitoreados y límite de emisiones permisibles. Algunos de los componentes emanados en el escape son cancerígenos (benceno, formaldehído) y otros son altamente tóxicos. (Zardini, et al., 2019, pp. 205, 206)

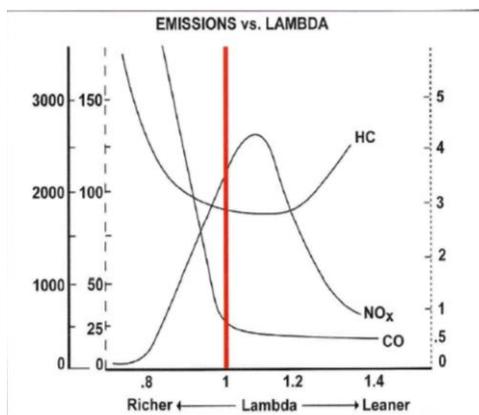


Figura 38. Lambda vs Emisiones
Fuente: (Banish, 2007)

a) Dióxido de carbono (CO₂)

El carbono químicamente ligado en el combustible produce aproximadamente un 13.7 % de dióxido de carbono (CO₂) en los gases de escape, en caso de una combustión completa. La cantidad emitida producto de la combustión es directamente proporcional al consumo de combustible. Sólo se puede reducir a través del consumo de gasolina. (BOSCH, 2003, p. 43)

b) Monóxido de carbono (CO)

Es producido cuando la combustión de una mezcla rica es incompleta a causa de falta de aire. También puede originarse, pero en diminutas cantidades de una combustión con exceso de aire a causa de una mezcla no homogénea. El monóxido de carbono reduce en el ser humano la capacidad de absorción de oxígeno en la sangre produciendo envenenamiento. (BOSCH, 2003, p. 44)

c) Hidrocarburos (HC)

(BOSCH, 2003) en su texto sobre la técnica de gases de escape para motores a gasolina manifiesta que: “Estos gases de escape son producidos debido a una combustión incompleta de la mezcla de aire y gasolina por falta de oxígeno (mezcla rica). Los hidrocarburos se consideran en parte, en caso de una acción prolongada, como cancerígenos.” (p. 44)

d) Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Son producidos debido a reacciones secundarias en todos los procesos de combustión con aire, que contiene nitrógeno. El motor de combustión genera principalmente: (i) óxido de nitrógeno (NO); (ii) dióxido de nitrógeno (NO₂); y en reducida medida también óxido nitroso (N₂O). (BOSCH, 2003, p. 44)

2.9. Mapa de eficiencia volumétrica

Dentro de los parámetros fundamentales para implementar un sistema de inyección electrónica empleando una computadora reprogramable, es necesario reconocer la exigencia del usuario al motor del vehículo.

Afortunadamente, los mapas principales utilizan un grupo común de ejes. Los más conocidos son: (i) la velocidad del motor (RPM); y (ii) su carga del múltiple o porcentaje de llenado. La combinación de velocidad y carga le comunica a la ECU mucho sobre lo que se está pidiendo que haga el motor.

Para hacerlo más sencillo, es necesario dividir los mapas base en zonas y explorar que sucede en cada uno de ellos. Puede ser fácilmente demostrado con un mapa

de avance de chispa o con uno de relación aire/combustible (...). Las zonas pueden superponerse ligeramente y los límites mostrados no son imperativos para todos los motores. (Banish, 2009, p. 118)

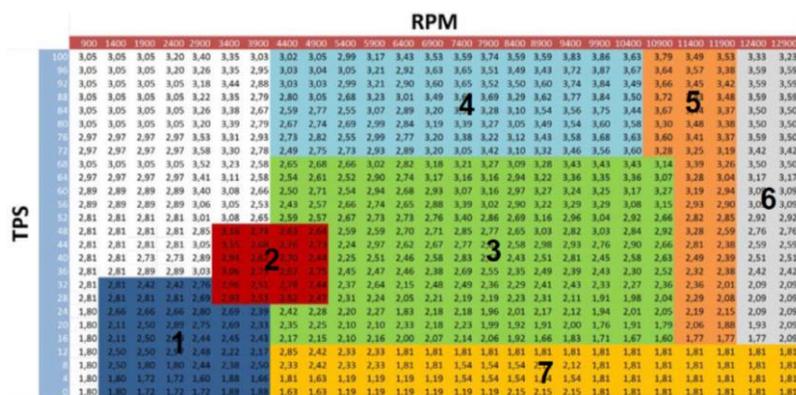


Figura 39. Zonas de eficiencia volumétrica
Fuente: (Gismero, 2017)

2.9.1. Zona 1

Ubicada en los alrededores de la velocidad esperada y el vacío nominal a ralentí, representa el régimen más bajo de funcionamiento del motor y el punto donde los vehículos se encuentran una gran parte del tiempo. La relación aire/combustible específicamente es sostenida alrededor de $\lambda = 1.00$ para las emisiones contaminantes y el consumo de combustible. Dentro de esta zona, la velocidad del motor y su carga puede variar ligeramente a medida que el vehículo es puesto en marcha sin moverlo aún. Mediante todo esto, no está permitido el calado del motor y se deben tomar medidas para prevenirlo a cualquier costo. El control suave de la velocidad de ralentí se lleva a cabo ajustando el flujo de aire y el avance de la chispa en un esfuerzo para entregar una operación consistente. El tiempo de ignición es bastante bajo en ralentí con

la finalidad de proveer una reserva de torque para cambios repentinos. (Banish, 2009, p. 118)

2.9.2. Zona 2

Después del ralentí, este es el siguiente punto que experimentarán los conductores con el motor. La relación aire/combustible debe permanecer en $\lambda = 1.00$, incluso si el ingreso a esta zona es una condición transitoria. Conseguirlo requiere dos cosas: (i) la estimación de masa de aire en esta región en estado estable debe ser la correcta. La masa de aire en estado estable en cada celda dentro de esta zona, representa el flujo de aire esperado. Si dicha masa de aire esperada no está claramente definida, es casi imposible obtener la masa de combustible sobre la marcha con cualquier precisión. (ii) Las correcciones transitorias de combustible, deben ser lo suficiente para cubrir los cambios en el llenado del cilindro actual en relación al combustible agregado directamente al inyector. Por lo general hay un conjunto de tablas adicionales para compensar el llenado transitorio, pero teniendo antes los valores adecuados en la zona 2, la afinación de las correcciones se vuelve más sencilla. El tiempo de encendido en estas celdas deben configurarse para proveer una respuesta de torque medio al freno (MBT), cuando el conductor lo solicite. (Banish, 2009, p. 120)

2.9.3. Zona 3

Los motores pasan gran cantidad de tiempo en esta aquí, especialmente cuando se conduce a una velocidad relativamente constante. Dentro de esta zona los cilindros son generalmente llenados alrededor del 20 % o 30 % de su máximo en masa, una carga

bastante ligera. Debe brindarse mucha atención durante el proceso de calibración, ya que tiene un profundo impacto en la “sensación” del auto, así como el consumo de combustible y emisiones. La relación de aire/combustible es configurada a $\lambda = 1.00$ en toda la región en favor de emisiones y consumo de combustible decente. El golpeteo generalmente no es un problema en esta zona. (Banish, 2009, p. 121)

2.9.4. Zona 4

Está asociada a una región de aceleración moderada en caminos con pendientes para mantener una conducción estable. La carga del cilindro y la potencia entregada son ligeramente mayores que en la zona 3, pero aún no lo suficientemente altas para garantizar una potencia total. La relación de aire/combustible permanece en el mismo objetivo de $\lambda = 1.00$ y el avance está ajustado para entregar un torque medio al freno (MBT), siempre y cuando no se presente golpeteo. Con un sistema de motor correctamente diseñado, las temperaturas de sus componentes no deben representar un problema aún. (Banish, 2009, p. 123)

2.9.5. Zona 5

Se encuentra en un área donde se espera que la mayor parte de conductores no permanezca por mucho tiempo. Representa un régimen de revoluciones elevado, pero únicamente con carga moderada como dejar el motor en una marcha más baja intencionalmente. Los corredores pasan mucho tiempo aquí, cuando se mantienen en una marcha más baja o cuando descienden los cambios mediante la técnica de punta – tacón para entrar en curvas. En esta condición, el aumento de RPM's puede contribuir a

temperaturas más altas para sus componentes, así que se deben tomar estrategias para refrigerarlos. Válvulas de escape, catalizadores y colectores de escape en particular serán objeto de las elevadas temperaturas si el motor funciona continuamente en esta zona con $\lambda = 1.00$, por lo que, generalmente se suele enriquecer la mezcla para ayudar a reducir las temperaturas de combustión y de gases de escape. Los valores de λ entre 1.00 y 0.85 pueden ser necesarios para controlar la temperatura, dependiendo del sistema. (Banish, 2009, pp. 123, 124)

2.9.6. Zona 6

Un motor aspirado atravesará esta área cuando el acelerador este totalmente abierto (WOT). La presión en el colector de admisión puede ser ligeramente menor que la atmosférica si existe alguna restricción en el múltiple y el filtro. Tener en cuenta que, a gran altitud, esta zona incluirá valores del MAP tan bajos como 0.7 bares ya que esa es toda la presión disponible de la atmósfera con apertura total del acelerador. La única manera de llegar aquí es con el pedal a fondo, por lo que el objetivo es la máxima entrega. Para lograr esto, se ayuda con un enriquecimiento a la mezcla, generalmente con $\lambda = 0.87$, para hacer más eficaz el uso del aire de entrada. El combustible adicional también favorece para controlar las temperaturas de los componentes de escape, como en la zona 5. El avance es configurado tan cerca como sea posible al torque máximo al freno sin entrar al golpeteo. (Banish, 2009, p. 125)

2.9.7. Zona 7

Cuando el acelerador es liberado de forma abrupta, la presión en el colector de admisión cae al mínimo, ingresando a la zona 7. Para ingresar en esta área se requiere que el acelerador este casi completamente cerrado, lo que significa que el conductor está solicitando una respuesta de cero o torque negativo, para ralentizar el paso tan rápido como sea posible. Si lo que se necesita es cero par motor o menos, el control del motor se vuelve muy sencillo. A fin de producir cero torque, se necesita cero combustible. Muchos sistemas OEM tienen estrategias para reconocer este ajuste de condiciones y emplear lo que se conoce como corte de combustible por desaceleración (DFCO) para asistir al motor en el frenado. Retirar el 100 % de combustible y la producción de par significa que el frenado del motor será más pronunciado. (Banish, 2009, p. 126)

2.10. Mapas de encendido

Al completar un mapa de encendido, se observará muy similar al mapa de eficiencia volumétrica. No debe haber ningún salto hacia arriba o hacia abajo en los valores ingresados. Todo debe ser suave y progresivo. Existen algunas reglas simples que servirán cuando se afine el avance de encendido. (Banish, 2009, p. 202)

2.10.1. Evitar el golpeteo

El golpeteo es uno de los dos más grandes rompe motores, la excesiva velocidad del motor es la otra. Es el resultado de una combustión incontrolada que se genera cuando las ondas de presión dentro del cilindro colisionan. Estos choques de ondas pueden combinarse para dar lugar a presiones muy por encima de las cargas normales

de combustión sobre el cabezote, juntas, pistones, rines, bielas y rodamientos. La presión excesiva sobre la cabeza del pistón durante la compresión retendrá el cigüeñal y reducirá significativamente el par motor. Si hay presencia de golpeteo, la única manera de corregirlo es retrasando el tiempo de encendido hasta que este desaparezca. (Banish, 2009, pp. 203, 204)

2.10.2. Avance de encendido con incremento de la velocidad del motor

Cada revolución representa 360 grados, así que efectivamente se mide grados por minuto, o velocidad angular por minuto. Mientras esta velocidad angular incrementa, la ventana de tiempo para iniciar la combustión se adelanta. Un régimen de giro elevado significa más grados por segundo, el tiempo de quemado aún permanece relativamente consistente. Debido a que la presión máxima tiene lugar después del 50 % de la combustión con un adelanto de 12 a 15 grados a altas velocidades, el proceso de quemado debe iniciar antes. Si no se compensa el adelanto con la velocidad, resultará en una quema incompleta mientras alcanza el ángulo óptimo del cigüeñal y el pistón tendrá menos presión actuando sobre él, cuando debería ser más útil. (Banish, 2009, p. 205)

2.10.3. Retraso de encendido con aumento de carga del cilindro

En cualquier momento si en el cilindro tiene lugar más potencia en forma de mezcla adicional de aire y combustible, su reacción es ligeramente mayor. Las moléculas que reaccionan están más juntas una de otra, por lo que la propagación de la llama se maneja más rápido entre ellas. Además, a mayor cantidad de moléculas reaccionantes, mayor

desprendimiento de calor y aumento de presión. El calor y la presión son catalizadores para la reacción, por lo que más de ambos significa que sucederá más rápido. Debido a que la reacción no necesita tantos grados de giro para completarse, se requiere un menor adelanto para lograr una presión máxima una vez más cerca del punto óptimo del ciclo. (Banish, 2009, p. 207)

2.10.4. No entregar el par máximo en ralentí

La mayor parte del tiempo mientras un motor está funcionando, se busca que sea tan eficiente como sea posible. Un paso clave para alcanzar una eficiencia óptima es hacerlo trabajar a su par máximo al freno (MTB) para generar la mayor presión en el cilindro. Retrasando el encendido del MTB en cualquier punto significa que se cuenta con un par potencial dejado en reserva. (Banish, 2009, p. 208)

Cuando un motor se encuentra en ralentí, la ECU constantemente intenta encontrar una manera de balancear todos los torques en el sistema. La fricción, las pérdidas por las bombas y accesorios y la transmisión proporcionan un par negativo al cigüeñal que constantemente intentan disminuir su velocidad hasta detenerlo. Para compensar esto, la combustión de la mezcla en el cilindro es usada para generar sólo el suficiente par positivo para mantener una velocidad de ralentí constante. Operar con un menor avance de encendido significa que en cualquier momento, la ECU tiene la posibilidad de incrementar el par de salida del cigüeñal para contrarrestar cualquier incremento de pérdidas repentino. Esta reserva de torque es crítica para mantener un buen control de ralentí. (Banish, 2009, pp. 208, 209)

2.11. Calibración de la ECU

La calibración es usada en todo el proceso de desarrollo del motor, desde el mapeo inicial hasta la línea final de calibración del fabricante. Es usada para maximizar el rendimiento del vehículo, economía de combustible y objetivos de manejo en conjunto con la necesidad de cumplir los límites de emisiones contaminantes. El ajuste controlado de la calibración, incluye la compatibilidad con el medio ambiente y el camino a transitar, los cuales son rigurosamente controlados, de esta manera, el rendimiento entero puede ser mapeado, analizado y pulido para mejorar el desempeño en general de los sistemas del auto. (Oshana & Kraeling, 2013, p. 799)

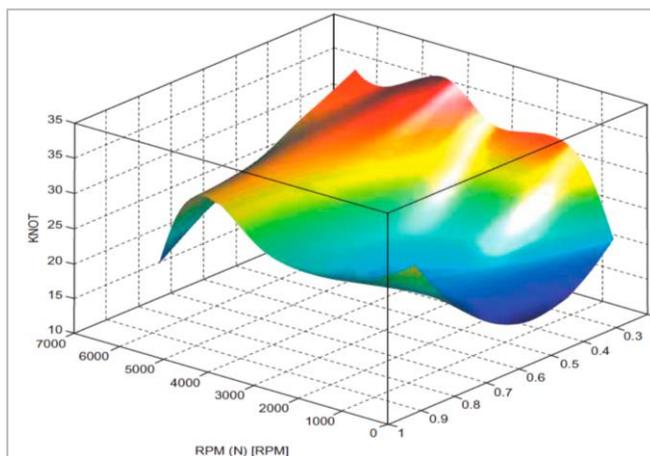


Figura 40. Mapa motor vista tridimensional
Fuente: (Oshana & Kraeling, 2013)

2.12. Angulo de encendido y presión en el cilindro

La sincronización de la presión con el ángulo de rotación del motor puede tener un efecto muy significativo sobre el par de salida neto. La presión del cilindro incrementa y disminuye en un ciclo repetitivo con cada rotación. Sin embargo, existe un punto de presión máxima en cada ciclo de combustión donde la energía disponible se encuentra

en su cúspide. Antes y después de su punto máximo, aún existe una importante cantidad de energía contenida en el cilindro y en la mezcla. Para conseguir el trabajo de salida más útil de esta liberación de energía es cuestión de aprovechar la presión de expansión durante el ciclo de potencia del motor. Cuanta más presión disponible en todo el ciclo de potencia después del punto muerto superior, mayor energía puede ser transferida al cigüeñal como trabajo rotacional. La energía liberada en el pistón por la combustión de la mezcla durante el ciclo de compresión antes del punto muerto superior es en realidad trabajo negativo que es sustraído de trabajo total del cigüeñal en el ciclo. Si bien es imposible evitar este trabajo negativo durante la compresión, se debe encontrar un balance entre el trabajo negativo durante la compresión y el trabajo positivo durante la expansión, de forma que se aplique la mayor cantidad de trabajo neto al cigüeñal como resultado de la combustión en todos los ciclos. La sincronización de los ciclos de combustión y rotación es lo que determina la eficiencia con la que la presión se convierte en trabajo. El avance de encendido es quien controla la eficiencia mecánica del ciclo de combustión. Al aplicar la presión en el momento correcto del ciclo, se provecha al máximo la combustión que está teniendo lugar. (Banish, 2009, pp. 107, 108)

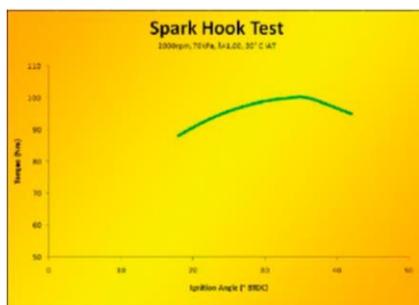


Figura 41. Torque vs Avance
Fuente: (Banish, 2009)

CAPÍTULO III

INSTALACION E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1. Especificaciones técnicas del motor del vehículo Mazda 929

El desarrollo de la investigación tendrá lugar en el vehículo Mazda 929, equipado con un motor VC de la serie F del fabricante japonés Mazda, cuyas especificaciones se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4
Especificaciones del motor del vehículo Mazda 929

MOTOR	
Tipo	4 cilindros en línea, 4 ciclos, S.O.H.C.
Relación de compresión	8.6 : 1
Diámetro	80 mm (3.15")
Carrera	88 mm (3.46")
Desplazamiento del pistón	1769 cc
Orden de encendido	1 – 3 – 4 – 2
Sistema de alimentación	Carburador
Potencia	82 hp @ 5000 rpm
Torque	134 Nm @ 2500 rpm

Fuente: (Mazda, 1974)

3.2. Unidad electrónica reprogramable RaceTec R1000

El módulo reprogramable RaceTec R1000 facilita la puesta a punto de cualquier motor de 4T de ciclo Otto, además ofrece todas las ventajas de un sistema de inyección secuencial. En su memoria se puede almacenar hasta 7 mapas diferentes y posee un

display donde se visualiza distintos valores en tiempo real sobre el estado o funcionamiento del motor y sus componentes.



Figura 42. RaceTec R1000

Fuente: (RaceTec, s.f.)

Tabla 5

Características del módulo de inyección electrónica RaceTec R100

RaceTec R1000	
Especificaciones técnicas:	Procesador Dual-Core Velocidad Máxima 16000 rpm Sensor MAP hasta 6 kg positivos, 1 kg para la etapa de depresión Pantalla tecnología Oled Azul Datalogger interno Inyección y encendido secuencial Resolución de encendido de 0.1° Resolución de tiempos de inyección de 0.01 ms Entrada de TPS Entrada Sonda lambda Wide Band / Narrow Band Entrada Temperatura de aire, agua Entrada Temperatura de escape
Entradas y salidas:	Entrada Presión de aceite, combustible Entrada Sensor de rpm Entrada Sensor de fase 5 Entradas configurables, 3 analógicas y 2 digitales 4 Salidas auxiliares configurables Mapas de inyección e ignición por TPS/MAP vs rotación Corrección del ángulo de inyección
Funciones:	Corrección por temperatura del motor en inyección y encendido Corrección por temperatura de aire en inyección y encendido Corrección del ángulo de encendido en arranque Control de Inyección secuencial, semi secuencial o simultáneo

CONTINÚA

Control de Ignición secuencial, chispa perdida o bobina única
 Lectura de ruedas fónicas o distribuidor
 Limitador de RPM por corte de encendido, combustible o ambos
 Corte por sobrepresión de admisión
 Corte por desaceleración
 Control de bomba de combustible
 Control de electroventilador
 Shift Light programable
 Control de levas variable
 Protecciones y alertas configurables de todos los sensores disponibles

Dimensiones: 117 mm * 79 mm * 24 mm

Fuente: (RaceTec, s.f.)

3.2.1. Distribución de pines RaceTec R1000

El módulo reprogramable de procedencia argentina cuenta con dos conectores en su parte posterior, cada uno destinado para la conexión de sus componentes en base a su función.

El conector principal está destinado para cada una de las entradas de los sensores predeterminados y las entradas auxiliares.

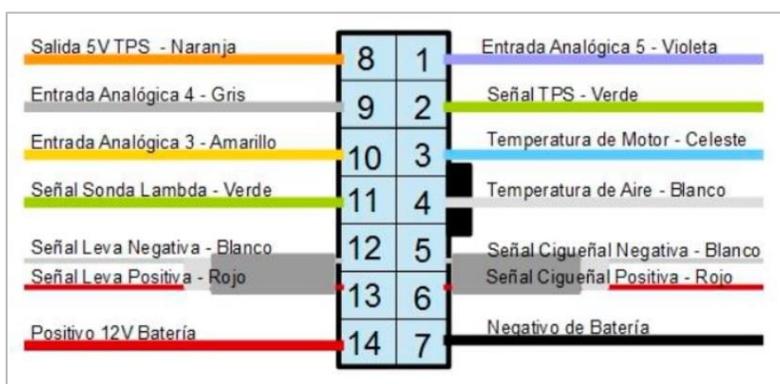


Figura 43. Socket principal de la RaceTec R1000

Fuente: (RaceTec, s.f.)

Tabla 6*Descripción de pines del conector primario de la RaceTec R1000*

Color	Pin	Función	Observaciones
Violeta	1	Entrada analógica 5	Puede usarse para lectura de presión de aceite/combustible, temperatura de escape, entre otras.
Verde	2	Entrada señal TPS	El otro pin se conecta al negativo de la batería
Celeste	3	Entrada señal ECT	El otro pin se conecta al negativo de la batería
Blanco	4	Entrada señal IAT	El otro pin se conecta al negativo de la batería
Blanco mallado	5	Señal CKP negativa	Si se usa sensor Hall dejar sin conexión
Rojo Mallado	6	Señal CKP positiva	Permite usar sensor Hall o inductivo
Negro	7	Negativo batería	Respetar la conexión directa a batería
Naranja	8	Salida positivo 5 V	5 V para alimentación del TPS y los sensores que requieran
Gris	9	Entrada analógica 4	Puede usarse para lectura de presión de aceite/combustible, temperatura de escape, entre otras.
Amarillo	10	Entrada analógica 3	Puede usarse para lectura de presión de aceite/combustible, temperatura de escape, entre otras.
Verde	11	Señal sonda lambda	Conexión a Wide Band o Narrow Band
Blanco mallado	12	Señal CMP negativa	Si se usa sensor Hall dejar sin conexión
Rojo mallado	13	Señal CMP positiva	Permite usar sensor Hall o inductivo
Rojo	14	Alimentación 12 V	Positivo llave de contacto

Fuente: (RaceTec, s.f.)

El conector secundario está relacionado principalmente con las salidas de la computadora, tanto las auxiliares como para los diferentes actuadores.

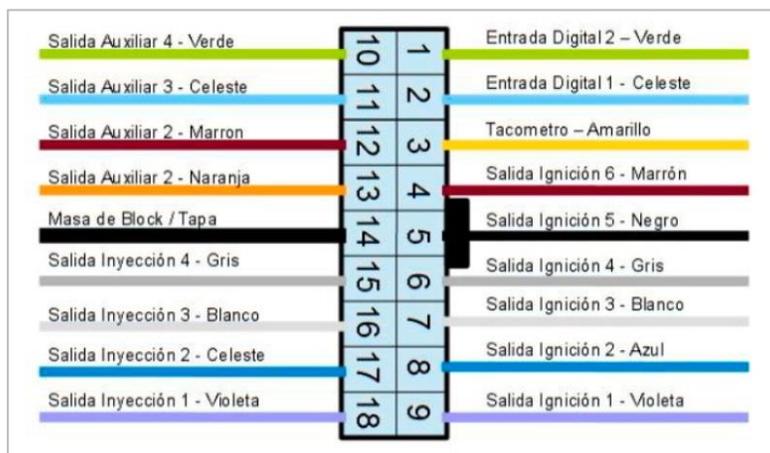


Figura 44. Socket secundario de la RaceTec R1000

Fuente: (RaceTec, s.f.)

Tabla 7

Descripción de pines del conector secundario de la RaceTec R1000

Color	Pin	Función	Observaciones
Verde	1	Entrada digital 2	Puede ser vinculada a cualquier función que requiera entrada digital
Celeste	2	Entrada digital 1	Puede ser vinculada a cualquier función que requiera entrada digital
Amarillo	3	Tacómetro	Salida para rpm
Marrón	4	Salida ignición 6	Para bobina
Negro	5	Salida ignición 5	Para bobina
Gris	6	Salida ignición 4	Para bobina
Blanco	7	Salida ignición 3	Para bobina
Celeste	8	Salida ignición 2	Para bobina
Violeta	9	Salida ignición 1	Para bobina
Verde	10	Salida auxiliar 4	Puede vincularse a funciones que lo requieran
Celeste	11	Salida auxiliar 3	Puede vincularse a funciones que lo requieran
Marrón	12	Salida auxiliar 2	Puede vincularse a funciones que lo requieran
Naranja	13	Salida auxiliar 1	Puede vincularse a funciones que lo requieran
Negro	14	Masa de potencia	Conectar al block o cabezote
Gris	15	Salida inyección 4	Soporta hasta 2 inyectores por salida
Blanco	16	Salida inyección 3	Soporta hasta 2 inyectores por salida

CONTINÚA →

Celeste	17	Salida inyección 2	Soporta hasta 2 inyectores por salida
Violeta	18	Salida inyección 1	Soporta hasta 2 inyectores por salida

Fuente: (RaceTec, s.f.)

3.3. Sensores

3.3.1. Sensor CKP

El sensor es del tipo inductivo e informa a la ECU reprogramable la posición del cigüeñal de forma que se pueda controlar el momento exacto de la inyección y también proporcionar adelantos el pulso de ignición.



Figura 45. Sensor CKP

Para conocer si es del tipo inductivo o de efecto Hall es necesario tomar mediciones entre dos de sus cables, determinando, además, la polaridad del mismo para su correcta conexión, el detalle de los terminales del sensor se encuentra en la tabla inferior.

Tabla 8*Medición entre los terminales del sensor CKP*

Terminales	Medición	Valor
1 Rojo (Positivo señal)	1-2	518 Ω
2 Amarillo (Negativo señal)		
3 Azul (Blindado)		

3.3.2. Sensor CMP

Para trabajar con inyección del tipo secuencial el módulo de inyección debe recibir la señal de un sensor de fase, el cual debe generar 1 pulso al completar 2 giros del cigüeñal. Puede interpretar señales analógicas o digitales de sensores inductivos o de efecto hall respectivamente.

**Figura 46.** Sensor CMP

El sensor es del tipo inductivo y es capaz de generar su propio voltaje entre sus terminales.

Tabla 9*Medición entre los terminales del sensor CMP*

Terminales	Medición	Valor
1 Rojo (Positivo señal)	1-2	580 Ω
2 Negro (Negativo señal)		

3.3.3. Sensor MAP

La unidad reprogramable RaceTec R1000 cuenta con un sensor MAP integrado, ubicado en su parte posterior, el cual tiene una lectura de 7 kg absolutos. Deberá emplearse mangueras de poliuretano con un diámetro interno de 4 mm y externo de 6 mm. (RaceTec, s.f., p. 11)



Figura 47. Sensor MAP

3.3.4. Sensor TPS

Se trata de una resistencia variable con un cursor solidario al eje de la mariposa. Cuenta con una alimentación de 5 V y produce una señal de 0.51 V cuando el estrangulador está cerrado y 4.57 V al 100 % de apertura.



Figura 48. Sensor TPS

Tabla 10

Medición entre los terminales del sensor TPS

Terminales	Medición	Valor
A Rojo (Alimentación)	B – C (Cerrado)	9.56 Ω
B Negro (Tierra)	B – C (Abierto)	6.06 K Ω
C Naranja (Señal)	A - C	6.35 K Ω

3.3.5. Sensor ECT

Es del tipo NTC, su resistencia es inversamente proporcional a la temperatura, el papel que desempeña es informar a la ECU sobre la temperatura a la que se encuentra el refrigerante que recorre el motor, también se puede realizar correcciones en el mapeo tanto de inyección como ignición para el arranque en frío.



Figura 49. Sensor ECT

Tabla 11

Mediciones de los terminales del sensor ECT

Terminales	Medición	Valor
A Negro (Tierra)	A-B (18°)	3.95 K Ω
B Rojo (Alimentación)	A-B (75°)	396 Ω
	A-B (85°)	283 Ω

3.4. Actuadores

3.4.1. Bobina

El paquete de bobinas energiza a las bujías en pares, conocida como ignición por chispa perdida debido a que la alta tensión se repartirá para la mitad de los cilindros del motor, específicamente a los cilindros 1 y 4 y posterior al 2 y 3 de manera simultánea; en estas se distingue una principal dirigida para el cilindro que se encuentre en la fase de ignición con el pistón en su carrera ascendente y una secundaria destinada a su complemento que se encontrará en la fase de escape.



Figura 50. Bobina

Las bobinas de chispa perdida pueden proporcionar una carga que dura entre 2.5 y 3.5 milisegundos para funcionar de manera óptima, de superar los valores indicados, esta sufrirá saturación y calentamiento, lo que terminará averiándola. (RaceTec, s.f., p. 31)

Tabla 12

Mediciones de los terminales de la bobina

Terminales	Medición	Valor
1 Rojo (Alimentación)	1 – 2	3.78 K Ω
	1 – 3	9.78 K Ω
2 Amarillo (Tierra)	1 – 4	9.70 K Ω
3 Azul (Bobina 1y4)	2 – 3	3.55 K Ω
4 Negro (Bobina (2y3))	2 – 4	3.53 K Ω
	3 – 4	3.48 K Ω

3.4.2. Inyector (Denso 0400 / 16450-MEL-003)

Los inyectores equipados en los cuerpos de aceleración poseen una boquilla de 12 agujeros, lo que optimiza la atomización del combustible, tienen un caudal de 98 ml

cada 20 segundos a una presión de 43 psi, es decir, 294 cc/min @ 3 bar y 315 cc/min @ 3.45 bar. Son de alta impedancia, lo que evita el uso de un módulo adicional para su comunicación con la computadora reprogramable. (Honda CBR1000 Forum, 2007)



Figura 51. Inyector

Tabla 13

Mediciones en los terminales de los inyectores

Terminales	Medición	Valor
1 Rosa (Alimentación)	1-2	12.2 Ω
2 Blanco (Control de masa)		

3.5. Cuerpos de aceleración individuales ITB's

Tienen un diámetro de 42 mm de entrada para cada cilindro, cuenta con los habitáculos para los inyectores, y son monitoreados por un sensor TPS ubicado en un extremo del sistema de admisión, poseen su propio riel, y el mecanismo para controlar los estranguladores ubicado en la parte central.



Figura 52. Cuerpos de aceleración individuales

3.6. Circuito de implementación

En la siguiente figura se puede observar el diagrama de conexión de los sensores y actuadores necesarios para el funcionamiento del módulo de inyección electrónica.

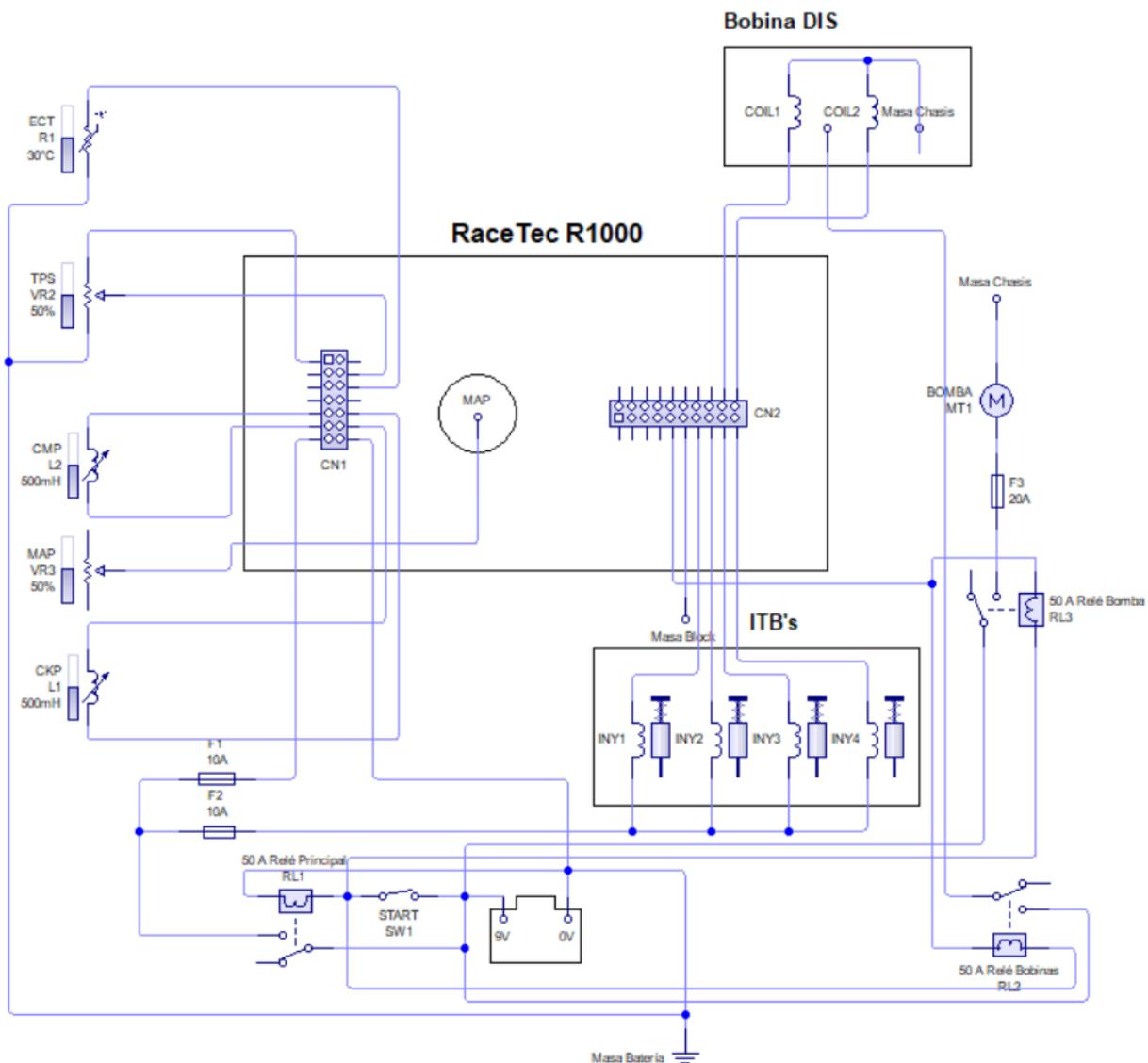


Figura 53. Circuito de conexión del módulo de inyección reprogramable

Debido a que la RaceTec R1000 posee dos arneses de cables destinados a ámbitos diferentes, se utilizó dos conjuntos de pines para simular la estructura interna de la computadora.

3.7. Adaptaciones para el sistema

El sistema de inyección electrónica año tras año mejora sus diseños para optimizar recursos y su desempeño, por lo que en contraste a un vehículo con alimentación por carburador se vuelve necesaria la elaboración de partes mecánicas de forma que los componentes inmersos en la actualidad tengan compatibilidad con el área de trabajo.

A continuación, se detalla cada una de las adaptaciones que fueron necesarias para la implementación del sistema de inyección electrónica.

Tabla 14
Adaptaciones adicionales para el sistema

Componente	Detalle	Imagen
Reluctor del cigüeñal	El sensor de giro del cigüeñal trabaja en conjunto con una rueda dentada (60 – 2), misma que le permitirá conocer al módulo de inyección electrónica la posición angular del eje principal.	
Base del CKP	La ubicación del sensor de giro del cigüeñal es de suma importancia para el funcionamiento del sistema, el manual de la computadora indica que el CKP debe apuntar al diente número 19 contándolos en sentido antihorario desde los 2 dientes faltantes. (Offset = 114 °).	

Figura 54. Reluctor del cigüeñal

Figura 55. Base para el sensor CKP

CONTINÚA 

Base de ITB's	<p>Los cuerpos de aceleración individuales poseen una separación diferente al diseño del múltiple de admisión del motor del vehículo, por lo que es necesario una base con una sección inicial a medida de los ITB's y cuya sección final se empareje con los ductos de admisión en el cabezote.</p>	
Sensor ECT	<p>El antiguo trompo de temperatura posee un alojamiento distinto al del sensor de temperatura del refrigerante, debido a ello, se colocó un acople cuya rosca tenga el mismo diámetro que el presente en el motor.</p>	
Línea de retorno	<p>El sistema de alimentación de combustible debe contar con una presión ideal, para lo cual se añadió una línea de retorno hasta el reservorio con una cañería de cobre, de forma que un regulador de presión pueda mantener la gasolina presurizada constantemente.</p>	
Dosadora	<p>Elemento necesario para regular la presión en el circuito de combustible, de este dependerá también el caudal de los inyectores, el exceso de gasolina para la presión indicada será evacuada por la línea de retorno.</p>	

3.8. Instalación del sistema de inyección electrónica

Todos los componentes cumplen funciones específicas en el circuito de alimentación y cada una de ellas es tan importante como las demás, por lo que es preciso señalarlos.

3.8.1. Sensores

En la tabla inferior se incluyen los sensores que el módulo reprogramable RaceTec R1000 interpretará para el control del sistema.

Tabla 15
Instalación de los sensores en el vehículo

Sensor	Detalle	Imagen
CKP	Sujetado en la parte inferior del block, se encargará de monitorear la posición angular del cigüeñal a través del reluctor.	 <p>Figura 60. Sensor CKP</p>
CMP	Ubicado en el cuerpo del distribuidor, informará al módulo de inyección electrónica cuando cada pistón se encuentre en el PMS en su fase de compresión.	 <p>Figura 61. Sensor CMP</p>
MAP	Integrado en el cuerpo del módulo reprogramable, tomará el vacío generado por el motor mediante mangueras situadas en cada cuerpo de aceleración.	 <p>Figura 62. Sensor MAP</p>
TPS	Acoplado al extremo de los estranguladores individuales, determinará el porcentaje de apertura de las cuatro mariposas de aceleración.	 <p>Figura 63. Sensor TPS</p>
ECT	Ubicado en la cubierta del termostato, informará al módulo reprogramable sobre la temperatura del líquido refrigerante del motor.	 <p>Figura 64. Sensor ECT</p>

3.8.2. Actuadores

A continuación, se detallan los componentes que recibirán las órdenes por parte del módulo de inyección electrónica, su imagen y descripción se enlista en la tabla inferior.

Tabla 16

Instalación de los actuadores en el vehículo

Actuador	Detalle	Imagen
Inyector	Se encuentran instalados en los cuerpos de aceleración, su caudal dependerá de la presión del sistema, dato importante para la afinación en el módulo reprogramable.	
Bobina	Repartirá la chispa a dos cilindros en cada giro completo del cigüeñal, el avance de encendido se configurará en las tablas de ajuste de ignición.	
Bomba de combustible	Es del tipo in-line o externa, proporciona una presión lo suficientemente elevada para la pulverización adecuada del combustible en los cilindros.	

Figura 65. Inyectores en los ITB's

Figura 66. Bobinas de chispa perdida

Figura 67. Bomba externa

3.9. Dinamómetro de rodillos

A diferencia de otros tipos de dinamómetro, el de rodillos permite medir la potencia y el torque del vehículo sin retirar el motor. Los datos adquiridos durante cada medición permiten conocer además las pérdidas generadas por la transmisión y de esta forma conocer los valores de salida hasta las ruedas.

Tabla 17*Características del dinamómetro de rodillos*

Característica	Detalle
Diámetro del rodillo	610 mm
Momento inercial	800 kg
Potencia máxima	2000 hp
Pérdidas por deformación del neumático	Aceptable
Simulación inercial	Buena
Instalación	Foso

Fuente: (Saenz, 2016)

El dinamómetro Saenz es de procedencia argentina, su instalación y operación es sencilla. Su momento inercial es de 800 kg por rodillo asegurando de esta manera el desarrollo del máximo potencial del auto. El diámetro de cada rodillo garantiza el agarre completo del neumático, eliminando también los errores durante la medición producidos por el desgaste de las cubiertas o por la diferencia de presión de las llantas. (Saenz, 2016)



Figura 68. Dinamómetro de rodillos Saenz

3.10. Analizador de gases BrainBee AGS-688

El analizador de gases empleado durante la realización del proyecto es de la marca BrainBee, equipo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – L, sus características se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 18

Características del analizador de gases Brain Bee AGS - 688

Brain Bee AGS - 688		
	Tiempo de calentamiento	< 10 min
	Medición de rpm y temperatura de aceite	
Características Generales	Compensador de altura	
	Sistema de filtrado reforzado	
	Gases a analizar	HC, CO, CO ₂ , NO _x y O ₂
	Tiempo de respuesta	< 15 seg
Rangos de medición	CO	0 a 9.99 % Vol
	CO ₂	0 a 19.9 % Vol
	HC	0 a 9999 ppm Vol
	O ₂	0 a 25 % Vol
	λ	0.5 a 5
	NO _x	0 a 5000 ppm Vol
	Revoluciones	300 a 9990 rpm
	Temperatura de aceite	20 a 250 ° C

Fuente: (Brain Bee® Automotive, s.f.)



Figura 69. Analizador de gases Brain Bee AGS-688

3.11. Multímetro

Para realizar las mediciones de las señales emitidas por los sensores y los valores de funcionamiento de los actuadores se necesario emplear un multímetro, los rangos de medición y sus respectivas escalas del equipo Mastech MS 8233C se especifican en la tabla a continuación.

Tabla 19
Características del multímetro Mastech MS 8233C

Función	Rango	Precisión
Voltaje DC	2V/20V/200V/600V	± 0.5 %
Voltaje AC	2V/20V/200V/600V	± 1.2 %
Corriente DC	200uA/2mA/20mA/200mA/10A	± 1.0 %
Resistencia	200Ω/2KΩ/20KΩ/200KΩ/2MΩ/20MΩ	± 0.8 %
Frecuencia	20KHz	
Probador de continuidad		
Probador de diodos		
Temperatura	-20 °C – 1000 °C	± 3 %

Fuente: (Mastech ®, 2017)



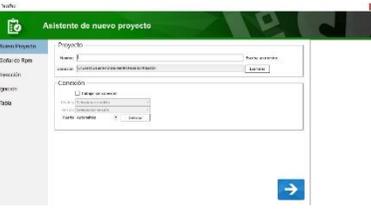
Figura 70. Multímetro Mastech

3.12. Software RaceTec Manager

Para proceder con la afinación de los sistemas de inyección y encendido se necesita establecer una comunicación mediante el módulo reprogramable RaceTec y el

software dedicado. Los pasos para la instalación del software se especifican en la tabla inferior.

Tabla 20
Proceso de instalación del software RaceTec Manager

Paso	Detalle	Imagen
Descargar el instalador del programa RaceTec Manager	El instalador del software se encuentra en la página de la marca en la pestaña “Soporte”	 <p>The image shows a website interface with a header 'TELÉFONO: 011-4381-1111' and 'MOTIVO DE ENVÍO: PRODUCTOS ENVIADOS CON SUS RESPECTIVOS NÚMERO DE SEGUIMIENTO'. Below this is a section titled 'DESCARGAS' (Downloads) with four links: 'SOFTWARE MANAGER BX000 T.001 CONFIGURACION Y DATA LOGGING', 'SOFTWARE POWER THROTTLE CONTROL', 'MANUAL DE MANAGEMENT BOX000 CONFIGURACION, OPERACION Y PARAMETROS POCOS', and 'MANUAL OPERACIONES BOX000 CONFIGURACION, OPERACION Y PARAMETROS POCOS'. There are also links for 'MANUAL BOOSTCONTROL BX001 CONFIGURACIONES Y ERRORES ELECTRICOS' and 'MANUAL SENSOR VELOCIDAD DE PIEDO REGULACION Y GRUPO DE FILTRO'. Each link has a download icon.</p>
Ejecutar el instalador	Correr el archivo descargado para la instalación del software	 <p>The image shows a window titled 'Programa de instalación de RaceTec Manager'. The main text says 'Bienvenido al programa de instalación de RaceTec Manager T.0.' and 'Se recomienda que cierre todos los programas en ejecución antes de continuar con la instalación. Si Ud. tiene algún otro programa en ejecución, por favor haga clic en Cancelar, cierre los programas y ejecute la instalación de nuevo. De no ser así, haga clic en Siguiente.' There are 'Volver', 'Siguiente >', and 'Cancelar' buttons at the bottom.</p>
Iniciar el programa	Al finalizar la instalación se ejecuta el programa	 <p>The image shows the main interface of the RaceTec Manager software. It features a dark background with a red header bar containing the word 'Proyectos'. There are several icons and a sidebar on the right with a list of items.</p>
Nuevo proyecto	El asistente solicitará el nombre para el nuevo proyecto, la detección del módulo se realizará de forma automática.	 <p>The image shows a dialog box titled 'Asistente de nuevo proyecto'. It has fields for 'Nombre Proyecto', 'Software Firm', 'Resolución', 'Operación', and 'Tipo'. There is a 'Cancelar' button and a blue arrow button at the bottom right.</p>

CONTINÚA 

Se debe detallar los componentes inmersos en el proyecto y sus características

Configuraciones de parámetros iniciales



Figura 75. Configuraciones iniciales

Hay que describir las propiedades del sistema de inyección como la cilindrada el tipo de combustible y el caudal de los inyectores entre otros.

Sistema de inyección



Figura 76. Configuración de inyección

Los parámetros del sistema de encendido se detallan en este paso.

Sistema de ignición



Figura 77. Configuración de ignición

El control del sistema de inyección puede ser controlado por los sensores MAP o TPS, además hay que delimitar el régimen al que el vehículo funcionará

Delimitación de los mapas



Figura 78. Delimitación de mapas

Una vez ingresadas las condiciones de funcionamiento el software permite iniciar la configuración de los mapas de inyección y encendido y aplicar correcciones.

Edición de mapas



Figura 79. Edición de mapas

3.13. Proceso de reprogramación

El software RaceTec Manager nos ofrece el control total de los sistemas de encendido y de alimentación, otorgando además funciones adicionales para condiciones de operación determinadas por el usuario, así como la oportunidad de colocar protecciones y alertas, de gran utilidad cuando los valores de funcionamiento excedan su rango normal.

El proceso de reprogramación en sus configuraciones iniciales, nos permite seleccionar el sensor que trabajará como elemento referencial para el funcionamiento del vehículo, pudiendo seleccionar entre el sensor MAP o TPS, en base al vacío generado por el múltiple de admisión o al porcentaje de apertura del acelerador, respectivamente.

Debido a que el sistema de admisión cuenta con cuerpos de aceleración individuales, el vacío generado es muy inestable entre cilindro y cilindro, lo que significa una lectura errónea por parte del sensor MAP y desembocando finalmente en un comportamiento irregular en cuando a respuesta de los elementos de inyección e ignición se refiere. Por lo cual, para la calibración de los mapas se tomará como referencia los valores entregados por el sensor de posición del acelerador.

3.13.1. Mapa 1

Los valores ingresados en el primer mapa están orientados a un funcionamiento discreto del vehículo en carretera, teniendo un régimen de revoluciones desde 300 rpm hasta 5000 rpm, en la tabla siguiente se observan los valores de operación de los parámetros de inyección y avance de chispa.

Tabla 21
Configuración del mapa 1

Ajuste	Detalle	Imagen
de Inyección	<p>En este ajuste los valores representan la eficiencia volumétrica, la cual es calculada por el módulo de inyección electrónica tomando en cuenta parámetros como el caudal de los inyectores, cilindrada del motor y cantidad de cilindros. Debido a la baja compresión del vehículo, no se cuenta con valores elevados inclusive en la zona WOT, sin embargo la mezcla es enriquecida para contar con una reserva de potencia que puede ser solicitada en cualquier momento</p>	
	<p>La tabla de encendido muestra los grados de avance de la chispa, teniendo en la zona de ralenti el menor valor de 9°, y un máximo de 24° en la zona de desaceleración para una respuesta rápida en casos de sobre marcha.</p>	

Figura 80. Mapa 1 de inyección

Figura 81. Mapa 1 de ignición

3.13.2. Mapa 2

Esta configuración busca una respuesta incrementada de potencia en la zona de máxima apertura del acelerador (WOT), de la misma manera, las tablas tienen un dominio desde 300 rpm hasta 5000 rpm, esto se debe a que, con mayores revoluciones, el motor trabaja con presiones más elevadas, por lo que para establecer una comparación equitativa con los resultados iniciales se enfocará en incrementar la potencia en el mismo régimen de giro.

Tabla 22
Configuración del mapa 2

Ajuste	Detalle	Imagen
de Inyección	<p>El mapa de eficiencia volumétrica cuenta con valores más elevados, pues el objetivo es enriquecer la mezcla para contar con un incremento de potencia en relación al mapa 1, valores comprendidos entre 20% a 110% son comunes para vehículos de competición con elevada compresión, sin embargo para el vehículo Mazda 929 se cuenta con valores de 15% de EV en la zona de ralentí y hasta 42% en la zona de máxima potencia, debido al desgaste de sus componentes mecánicos.</p>	 <p>Figura 82. Mapa 2 de inyección</p>
de Encendido	<p>El avance de encendido se ha incrementado en aproximadamente 20 % en todo el mapa pues con mayores cantidades de eficiencia volumétrica se necesita más tiempo para realizar la quema completa del combustible. Los valores de adelanto de chispa están comprendidos desde 16 ° en la zona de ralentí hasta 32 ° en la zona de máxima potencia.</p>	 <p>Figura 83. Mapa 2 de ignición</p>

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Prueba de potencia y torque

Previo a efectuar la medición del torque y potencia del vehículo es necesario tomar cautela para realizar la prueba sin ningún contratiempo.

Tabla 23

Protocolo de seguridad para el anclaje del vehículo en el dinamómetro

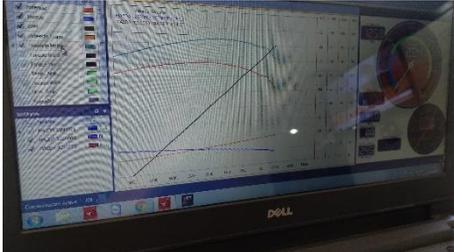
Paso	Detalle	Imagen
Verificación	Observar minuciosamente si existe algún elemento que pueda interferir con el buen funcionamiento del dinamómetro.	 <p><i>Figura 84.</i> Área de trabajo del dinamómetro</p>
Montaje del vehículo	Al contar con un espacio que no intervenga el funcionamiento del dinamómetro se debe posicionar las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos cuidando que se encuentren bien alineadas.	 <p><i>Figura 85.</i> Montaje del vehículo en el dinamómetro</p>

CONTINÚA 

Ubicación del arnés	El área de trabajo del dinamómetro debe contar con puntos de anclaje para colocar elementos de inmovilización.	
Colocación del arnés	Cada arnés deben colocarse en elementos que cuenten con gran sujeción en el vehículo.	
Anclaje del vehículo	Luego de sujetar cada arnés tanto a los puntos de sujeción como al vehículo se procede a temprarlos completamente con el fin de que el vehículo permanezca inmovilizado.	
Verificación	Comprobar que cada arnés cuente con la máxima tensión posible sin representar riesgos de movimiento o liberación.	

Luego de tomar las precauciones necesarias se puede iniciar con el protocolo de medición, los pasos se enlistan en la tabla siguiente.

Tabla 24
Protocolo de medición para el dinamómetro

Paso	Detalle	Imagen
Encender vehículo	el La prueba inicia al encender el vehículo	
Puesta en marcha	Se pone en marcha el vehículo con suavidad para evitar el salto de las ruedas sobre los rodillos hasta llegar a tercera marcha.	
Estabilización	Cuando el vehículo ha alcanzado la tercera velocidad se estabiliza el régimen de giro del motor a 2000 rpm, para calibrar la lectura del dinamómetro.	
Máxima aceleración	Mientras el régimen de giro es constante se inicia el proceso de medición, al mismo tiempo se presiona completamente el acelerador hasta sentir un descenso en la potencia del motor.	

CONTINÚA 

Reducción de velocidad de Se suelta el acelerador y se coloca en neutral para dejar que la velocidad de las ruedas disminuya progresivamente en conjunto con el giro de los rodillos.

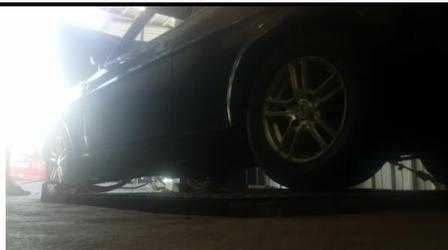


Figura 94. Reducción de velocidad

Detención Cuando la velocidad es lo suficientemente baja se aplica el freno para completar la detención de las ruedas y los rodillos.

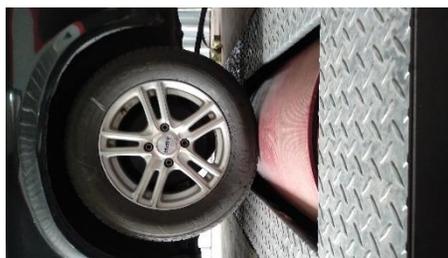


Figura 95. Detención de giro de los rodillos

4.1.1. Vehículo a carburador

En la primera medición de potencia y torque, el vehículo tiene equipado su sistema de alimentación de fábrica. Los valores obtenidos a continuación serán el punto de partida para establecer el análisis comparativo con las posteriores modificaciones.

Tabla 25

Resultados del ensayo dinamométrico con el vehículo a carburador

RPM	P. EN MOTOR (HP)	P. EN RUEDA (HP)	TORQUE (Nm)
2500	64.90	56.91	111.37
2600	65.89	57.60	110.14
2700	67.37	58.69	108.90
2800	69.63	60.56	108.28
2900	71.41	61.84	106.57
3000	72.10	62.24	103.47
3100	74.17	63.91	102.79
3200	76.24	65.49	102.24
3300	77.23	65.98	99.76
3400	78.61	66.87	98.18
3500	79.40	67.27	95.92
3600	80.39	67.76	93.99

CONTINÚA 

3700	81.47	67.96	91.72
3800	82.26	68.15	89.39
3900	82.75	68.06	87.12
4000	82.36	67.17	83.89
4100	81.86	66.08	80.32
4200	80.98	64.51	76.54
4300	80.78	63.52	73.79
4400	78.81	60.86	69.05
4500	77.43	58.78	65.20
4600	70.13	50.80	55.03
4700	47.74	27.81	29.54
4800	27.42	27.42	28.72

El rango de revoluciones durante la medición no es tan elevado debido a que la máxima potencia se entrega en un régimen medio de funcionamiento, pues el motor del vehículo Mazda 929 y su equipamiento favorece su rendimiento en bajas revoluciones, estos datos obtenidos con su configuración inicial permiten graficar la curva de potencia y torque.

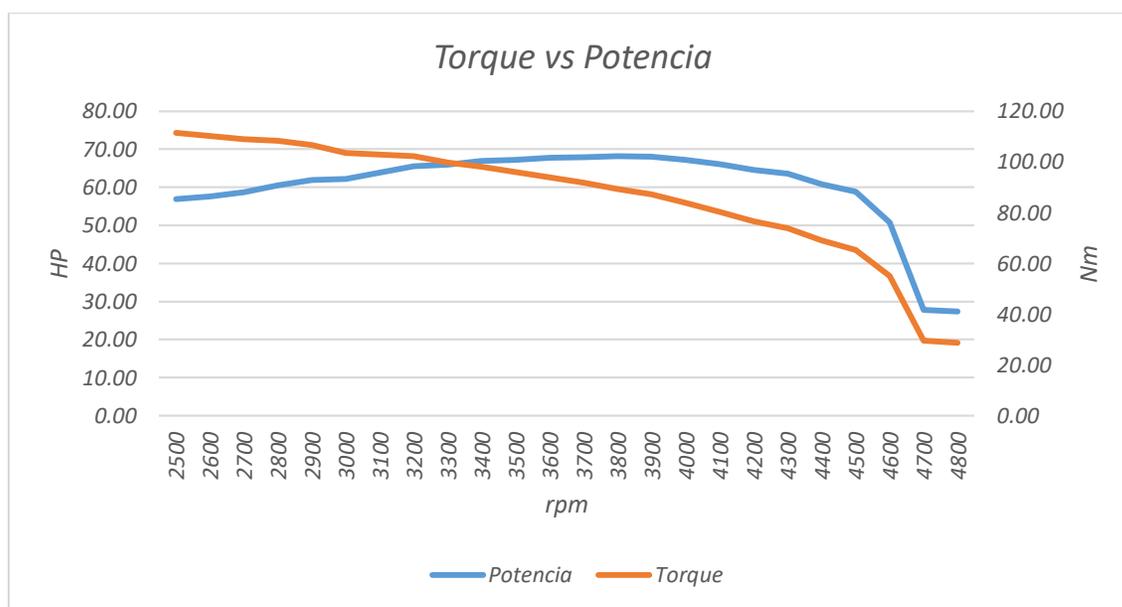


Figura 96. Curva de torque vs potencia del vehículo a carburador

Con el vehículo equipado con carburador se obtiene una potencia máxima de salida de 68.15 HP @ 3800 rpm y un par en rueda límite de 111.37 Nm @ 2500 rpm.

4.1.2. Primer mapa

Para la afinación de este mapa se considera el funcionamiento estable del motor, principalmente en velocidad crucero, que es donde mayor tiempo trabaja el vehículo.

Tabla 26
Resultados del ensayo dinamométrico con el mapa 1

RPM	P. EN MOTOR	P. EN RUEDA	TORQUE
3000	62.34	58.39	137.59
3100	64.11	60.17	139.25
3200	66.18	61.94	139.94
3300	69.04	64.70	140.53
3400	70.62	66.08	138.47
3500	73.09	68.35	138.47
3600	76.14	71.21	139.94
3700	77.62	72.59	138.47
3800	80.78	75.55	140.14
3900	81.77	76.34	137.88
4000	83.54	78.02	137.49
4100	84.13	78.41	135.04
4200	85.61	79.60	134.06
4300	85.32	79.10	130.53
4400	21.80	15.49	25.01
4500	17.95	17.95	28.54

Al analizar el mapa motor elaborado con el software RaceTec Manager, se establece la medición de potencia desde 3000 rpm hasta el corte de ignición con un valor de 4500 rpm, pues en ese rango, se reflejará la máxima potencia del vehículo.

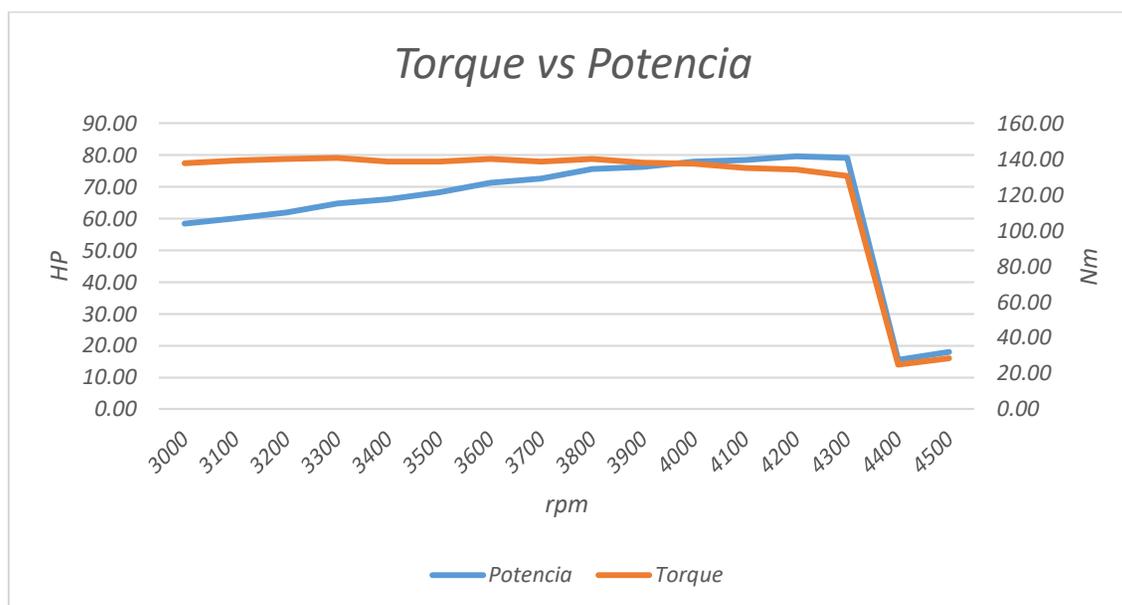


Figura 97. Curva de torque vs potencia del vehículo con el mapa 1

Luego de realizar las mediciones con una calibración en carretera se obtiene a 4200 rpm una potencia máxima de 79.60 HP y un par en rueda de 140.53 Nm a 3300 rpm. Se observa un comportamiento estable en cuanto a respuesta de torque se refiere a lo largo de todo el dominio de revoluciones, traduciéndose en la conservación de la velocidad de desplazamiento del vehículo a todo régimen.

4.1.3. Segundo mapa

El mapa 2 está enfocado en el incremento de potencia del vehículo, pero considerando sus condiciones mecánicas, se debe trabajar con valores discretos en la afinación de los parámetros de inyección y encendido.

Tabla 27

Resultados del ensayo dinamométrico con el mapa 2

RPM	P. EN MOTOR	P. EN RUEDA	TORQUE
3000	65.59	61.65	146.38
3100	67.46	63.52	146.61
3200	69.63	65.39	144.84
3300	73.09	68.85	146.51
3400	74.47	70.03	146.41
3500	75.95	71.31	146.41
3600	78.31	73.48	145.82
3700	80.39	75.35	144.94
3800	82.85	77.72	145.14
3900	84.33	78.91	143.37
4000	86.01	80.48	142.39
4100	87.59	81.86	141.41
4200	88.97	83.05	140.14
4300	90.05	83.84	138.47
4400	22.49	16.18	26.09
4500	15.58	15.58	24.71

La afinación del segundo mapa se la realiza en el dinamómetro, pues se espera un incremento de potencia al aumentar los valores de eficiencia volumétrica y de avance de encendido en relación con el primer mapa.

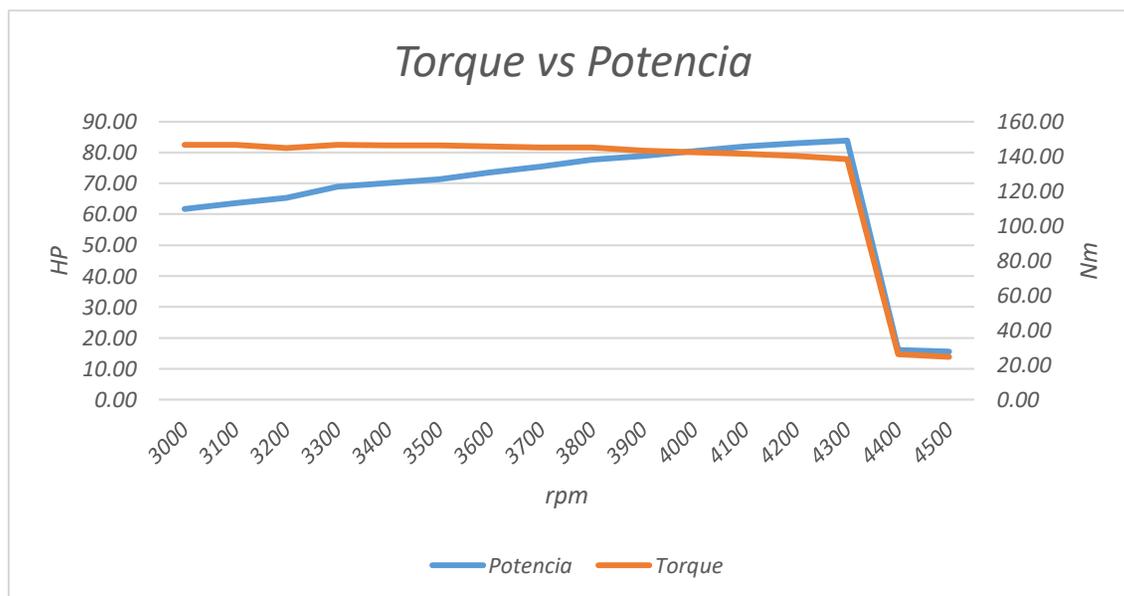


Figura 98. Curva de torque vs potencia del vehículo con el mapa 2

Las repetidas mediciones reflejan máximos de 83.84 HP a 4300 rpm y 146.61 Nm a un régimen de giro de 3100 rpm. En efecto se tiene un incremento tanto de la potencia y del torque en relación con los resultados de la prueba del vehículo cargado con el mapa 1.

4.2. Prueba de emisiones contaminantes

El proceso de medición de gases producidos por la combustión involucra ciertas consideraciones iniciales, como contar con un sistema de carga estable, filtros de aire y combustible en óptimas condiciones y el sistema de escape completamente hermético hasta su sección final de salida.

Si el vehículo cumple con todos los requerimientos, se puede iniciar con la prueba de análisis de gases, su proceso se detalla en la tabla a continuación.

Tabla 28
Protocolo de medición para el analizador de gases

Paso	Detalle	Imagen
Temperatura funcionamiento	de El motor del vehículo debe alcanzar su temperatura de funcionamiento para conocer la cantidad de gases que emana.	

Figura 99. Indicador de temperatura del vehículo

CONTINÚA 

Energizar los equipos El analizador de gases establece comunicación con un computador precargado con su software, el cual facilitará el manejo del equipo



Figura 100. Alimentación de los equipos

Conexión de accesorios Existen equipos adicionales que trabajan a la par con el analizador, los cuales se conectarán al sistema de carga del vehículo y permitirá observar parámetros como revoluciones del motor y su temperatura.



Figura 101. Cuentarevoluciones

Calibración del equipo Para proceder a la medición el equipo debe alcanzar cierta temperatura para interpretar los datos adquiridos



Figura 102. Pantalla principal del software Brain Bee

Prueba de hermeticidad de la sonda El componente que recopila todos los gases nocivos emitidos por el motor de combustión debe someterse a una prueba de estanqueidad, controlada por el software del equipo.



Figura 103. Prueba de estanqueidad de la sonda

CONTINÚA →

Ubicación de la sonda Luego de realizar todas las calibraciones y pruebas del equipo, se coloca la sonda en la salida del sistema de escape.



Figura 104. Ubicación de la sonda en el vehículo

Adquisición de valores Se efectúa las mediciones de gases contaminantes a diferentes regímenes de funcionamiento.



Figura 105. Lectura de valores en el analizador

Generación de reporte Luego de cada prueba a cierto régimen es preciso generar el reporte de la prueba con los valores obtenidos.

ANALIZADOR		CUELTARREVOLUCIONES	
Número de serie	: AGS-688 160513000054	Número de serie	:
LATAJUNGA		ESPE-L	
BELIZARIO QUEVEDO		TELEPHONE FAX - EMAIL	
Datos del vehículo:			
Marca	: Maada	Modelo	: 929
Matrícula	: PFV0803	No. Chasis	: LA2V5307711
Combustible	: GASOLINA	Km recorridos	: 97302
Valores relevados:			
Temp. motor	[°C]	:	69
RPM	[1/min]	:	680
COcorr	[%Vol]	:	0.44
Lambda	[-]	:	1.056
CO	[%Vol]	:	0.41
CO ₂	[%Vol]	:	13.6
HC	[ppmVol]	:	270
O ₂	[%Vol]	:	1.61

Figura 106. Reporte generado luego de la prueba

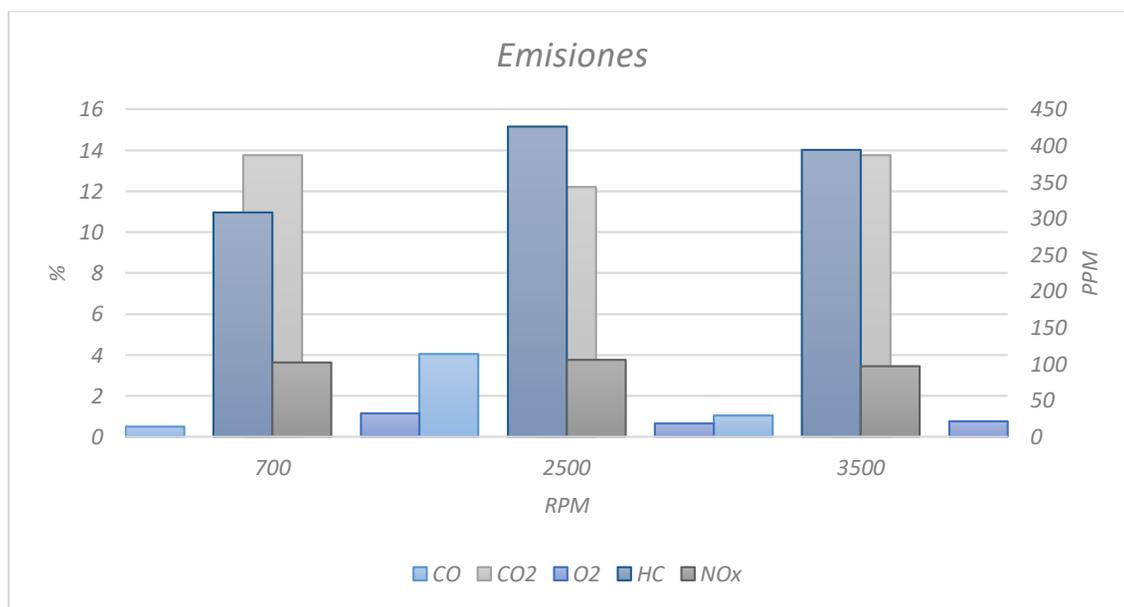
4.2.1. Vehículo a carburador

Para el proceso de medición de gases contaminantes, se toma lecturas a diferentes regímenes de funcionamiento, con el sistema de alimentación convencional se tiene los siguientes resultados.

Tabla 29*Resultados del ensayo de gases del vehículo a carburador*

RPM	Lambda	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x
700	1.0285	0.495	13.75	308	1.14	102.5
2500	0.901	4.045	12.2	426	0.67	106
3500	0.989	1.035	13.75	394.5	0.755	97

Se tiene un valor lambda cercano al de una mezcla estequiométrica a lo largo de las diferentes revoluciones del motor (1.02, 0.9, 0.98), sin embargo, se observa elevadas cantidades de NO_x, principalmente a 2500 rpm, alcanzando las 106 ppm. Los demás gases tomados por el analizador se encuentran en valores discretos como se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 107.** Cantidad de gases contaminantes a diferentes revoluciones

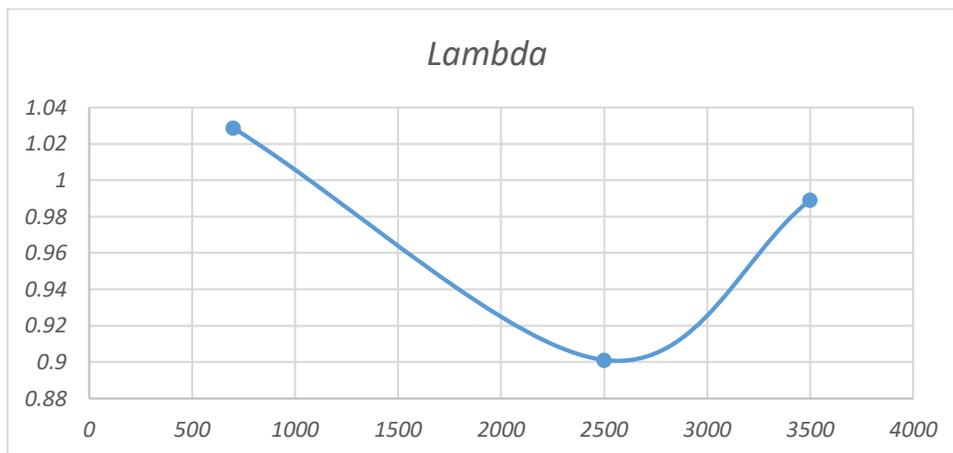


Figura 108. Curva de enriquecimiento del vehículo a carburador

4.2.2. Primer mapa

Las pruebas con el analizador luego de efectuar las modificaciones al sistema de admisión y alimentación se las realiza en el mismo régimen de funcionamiento del motor para establecer las debidas comparaciones.

Tabla 30

Resultados del ensayo de gases del vehículo con el mapa 1

RPM	Lambda	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x
1100	0.896	7.44	6.4	1893	4.61	50
2500	0.884	7.63	7.6	1191	3.66	56
3500	0.755	9.99	5.7	1447	1.53	37

El valor lambda refleja una mezcla rica al ingreso del cilindro, teniendo un valor máximo de 0.755 a 3500 rpm, además al contar con una mezcla rica los porcentajes de monóxido de carbono alcanzan valores sumamente elevados.

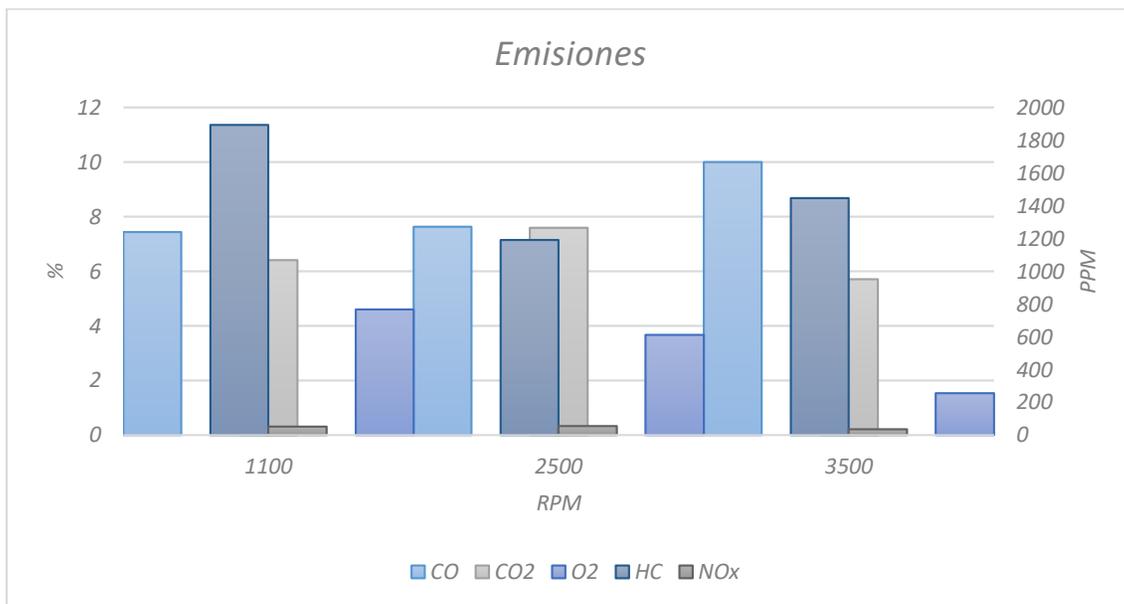


Figura 109. Cantidad de gases contaminantes del vehículo con el mapa 1

La curva de enriquecimiento de mezcla tiende a decaer en el régimen de velocidad crucero del vehículo.

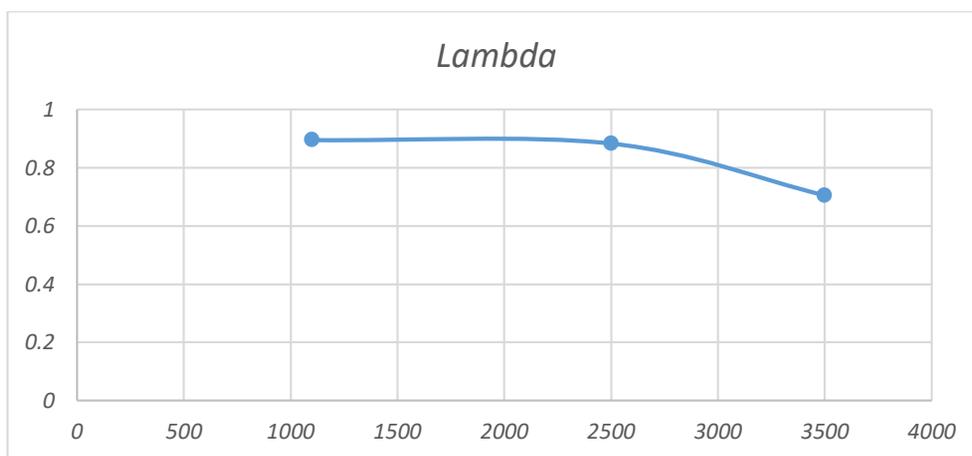


Figura 110. Curva de enriquecimiento del vehículo con el mapa 1

4.2.3. Segundo mapa

El segundo mapa refleja los resultados de las emisiones contaminantes con un motor repotenciado por incremento de los valores de eficiencia volumétrica y de adelanto de encendido.

Tabla 31

Resultados del ensayo de gases del vehículo con el mapa 2

RPM	Lambda	CO	CO ₂	HC	O ₂	NO _x
1100	0.766	9.19	7.6	1075	1.56	47
2500	0.724	9.99	5.1	2330	2.84	38
3500	0.731	9.99	4.9	2570	3.26	40

La lectura del analizador entrega un valor lambda incluso mayor a los obtenidos con el primer mapeo, consecuencia del incremento de la eficiencia volumétrica configurada en las tablas de inyección. Es así que las ppm de hidrocarburos también reflejan un aumento por una elevada cantidad de combustible entregada a los cilindros.

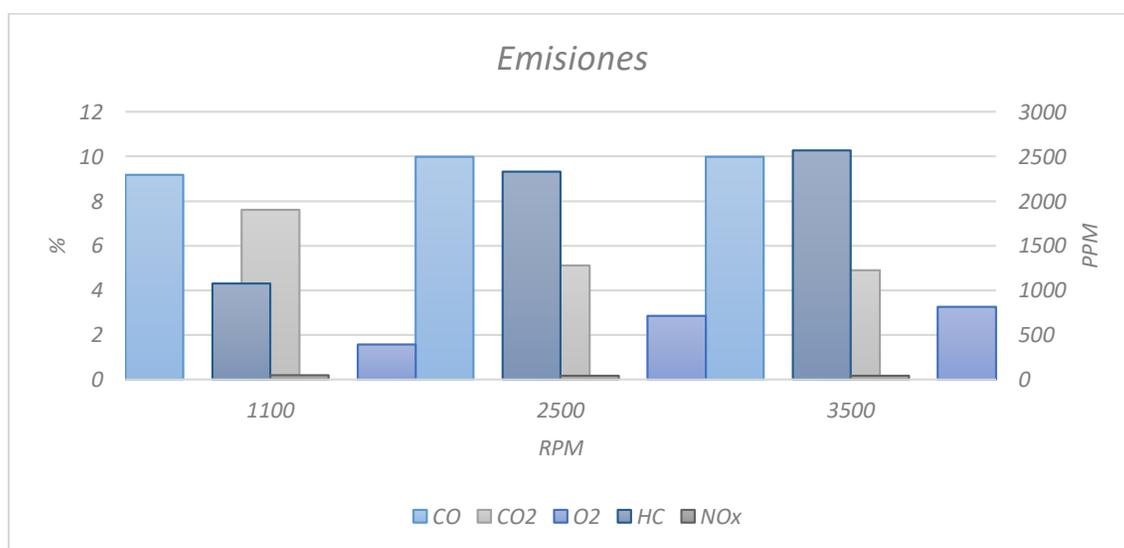


Figura 111. Cantidad de gases contaminantes del vehículo con el mapa 2

El incremento de potencia alcanzado se refleja en la curva de enriquecimiento de la mezcla, debido al aumento de valores de eficiencia volumétrica, principalmente en un régimen medio de revoluciones.

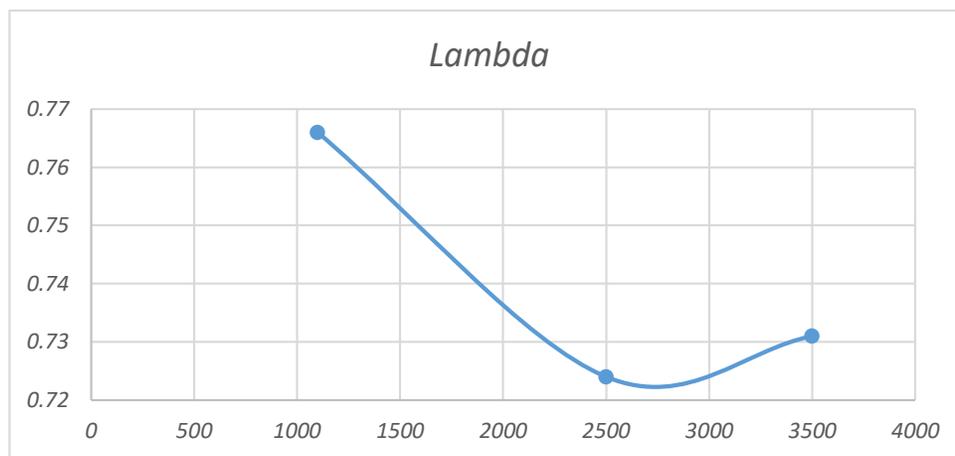


Figura 112. Curva de enriquecimiento del vehículo con el mapa 2

Las pruebas de emisiones contaminantes muestran un incremento en los gases analizados, debido al alza de potencia que refleja el motor del vehículo Mazda 929.

4.3. Prueba de consumo de combustible

La prueba de consumo de combustible se desarrolló en la ciudad de Latacunga, tomando como punto de partida la estación PetroEcuador “Los Sauces Latacunga”, hasta la entrada al Parque Nacional Cotopaxi, y volviendo nuevamente al lugar inicial, comprendida en dos trayectos con la finalidad de completar un recorrido de 100 km aproximadamente.

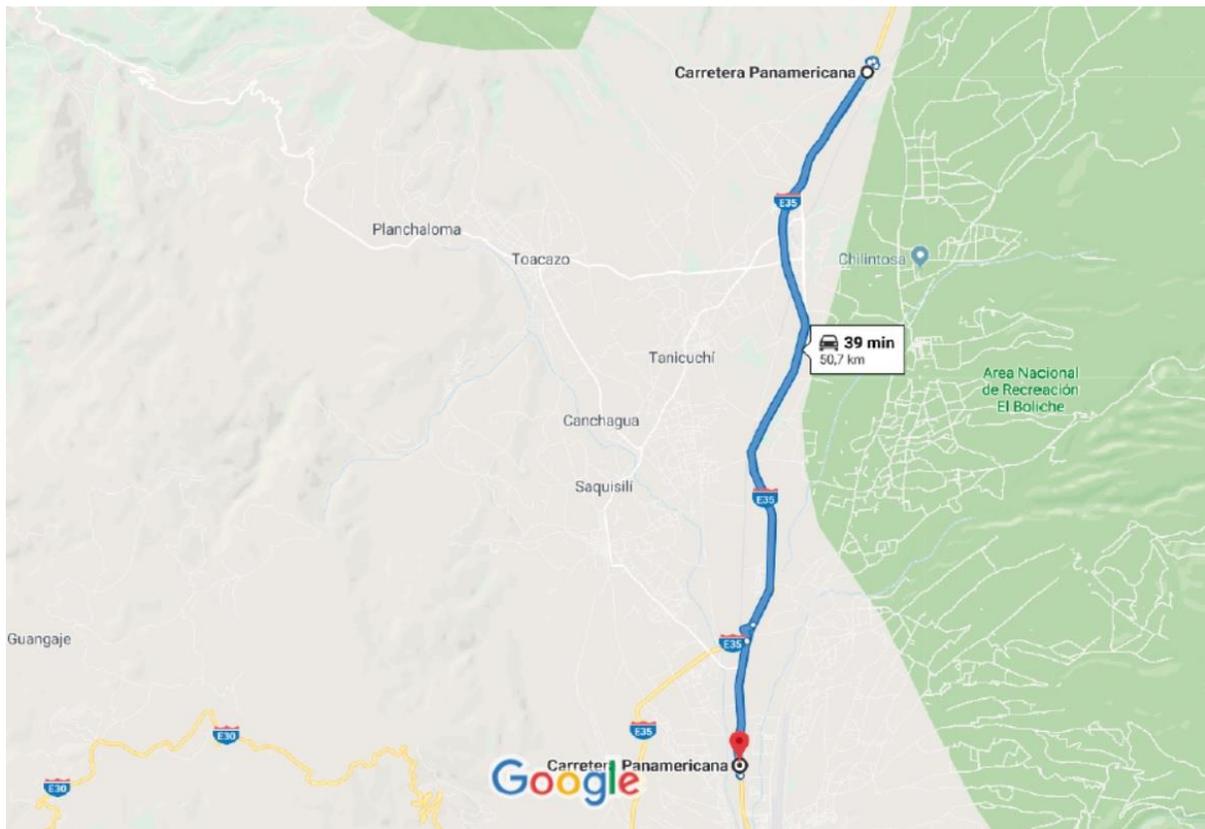


Figura 113. Ruta establecida para las pruebas de consumo de combustible

Para iniciar la prueba de consumo de combustible es necesario tomar en cuenta ciertas consideraciones, pues ciertos parámetros ambientales son factores determinantes para las condiciones de empleo de la gasolina, además de contar con un espacio completamente seguro y libre de situaciones que involucren la resistencia al desplazamiento del vehículo, todos los factores importantes previos al comienzo del ensayo se detallan en la tabla inferior.

Tabla 32*Consideraciones antes del inicio de la prueba de consumo de combustible*

Paso	Detalle	Imagen
Temperatura de funcionamiento	El motor del vehículo debe encontrarse a temperatura de funcionamiento para contar con un buen desempeño a todo régimen	
Llenar el reservorio	Para corroborar los datos se puede tomar una segunda medición de referencia, en base a l nuevo volumen de llenado al final de la prueba	
Medir la presión de los neumáticos	De la presión de los neumáticos dependerá un mayor o menor consumo en función del área de contacto con el pavimento y su resistencia a la rodadura	
Tomar datos ambientales	Valores de temperatura y humedad ambiente modificarán la densidad del combustible y la eficiencia volumétrica, por lo que las pruebas se deben realizar bajo circunstancias similares	

Figura 114. Indicador de temperatura y nivel de combustible**Figura 115.** Llenado del reservorio**Figura 116** Lectura de presión de los neumáticos**Figura 117.** Condiciones ambientales durante la prueba**CONTINÚA** 

Tomar datos del odómetro Hay que tomar el valor indicado en el odómetro para conocer el recorrido que comprendió la prueba



Figura 118. Lectura del odómetro del vehículo

Cerrar las ventanas Se debe cerrar completamente las ventanas del vehículo para no tener resistencia al rodamiento por parte del aire



Figura 119. Ventanas cerradas

La prueba de consumo de combustible tiene lugar a lo largo de una ruta que cuenta con variaciones de altitud, las cuales se pueden neutralizar al realizar el recorrido de retorno al punto de partida. Durante el trayecto se debe respetar todas las señales de tránsito, así como los límites de velocidad indicados para precautelar la seguridad del ocupante y del entorno.

Para la adquisición de los valores de consumo de combustible se tomó mediciones de resistencia del indicador de nivel de combustible en el reservorio al inicio, durante y final de la prueba, adicionalmente al final del trayecto se analizó los valores obtenidos por el multímetro con el llenado del tanque de combustible para conocer la diferencia de volumen en su interior. La tabla siguiente incluye datos ambientales y del vehículo que intervendrán en el resultado.

Tabla 33*Datos iniciales, finales y resultantes de la prueba de consumo*

		Datos de la prueba	
Fecha	Tramo	Tipo de vía	
		Datos del vehículo	
Marca		Modelo	
Año		Cilindraje	
		Variables	
Iniciales		Finales	
Hora de inicio		Hora de finalización	
Temperatura ambiente (°C)		Temperatura ambiente (°C)	
Presión de los neumáticos (psi)		Presión de los neumáticos (psi)	
Kilometraje (km)		Kilometraje (km)	
Altitud (m.s.n.m.)		Altitud (m.s.n.m.)	
Humedad %		Humedad %	
Resistencia del indicador Ω		Resistencia del indicador Ω	
Volumen en el reservorio		Volumen en el reservorio	
		Resultados	
Diferencia de resistencia $\Delta\Omega$		Diferencia del volumen en el reservorio	

Fuente: (López, 2013)

4.3.1. Vehículo a carburador

Los datos iniciales y finales de la prueba de consumo de combustible se detallan en la tabla inferior, así como la ruta establecida. Al finalizar se realiza el análisis de la variación de la cantidad de combustible en base a la resistencia del indicador y la diferencia de volumen en el reservorio.

Tabla 34*Datos del ensayo de consumo de combustible del vehículo a carburador*

		Datos de la prueba	
Fecha	Tramo	Tipo de vía	
Mayo 15 de 2019		Carretera	
		Datos del vehículo	
Marca	Mazda	Modelo	

CONTINÚA 

Año	1978	Cilindraje	1769 cc
Variables			
Iniciales		Finales	
Hora de inicio	11h55	Hora de finalización	13h21
Temperatura ambiente (°C)	14	Temperatura ambiente (°C)	16
Presión de los neumáticos (psi)	30	Presión de los neumáticos (psi)	30
Kilometraje (km)	96905.9	Kilometraje (km)	97006.0
Altitud (m.s.n.m.)	2832	Altitud (m.s.n.m.)	2832
Humedad %	72	Humedad %	68
Resistencia del indicador Ω	2.5	Resistencia del indicador Ω	15.5
Volumen en el reservorio (gl)	16.9	Volumen en el reservorio (gl)	14.16
Resultados			
Diferencia de resistencia $\Delta\Omega$	13	Diferencia del volumen en el reservorio (gl)	2.74

Al finalizar el recorrido se tiene una diferencia de resistencia en el indicador de nivel de combustible de 13Ω lo que representa un consumo de 2.74gal/100km.

4.3.2. Primer mapa

Para la prueba de consumo con las modificaciones del vehículo, se intenta reflejar las condiciones ambientales de la primera prueba con sistema de alimentación a carburador, de esta manera, las concentraciones de combustible deben ser similares.

Tabla 35

Datos del ensayo de consumo de combustible del vehículo con el mapa 1

Datos de la prueba			
Fecha	Julio 12 de 2019	Tramo	PetroEcuador “Los Sauces” – Entrada al Parque Nacional Cotopaxi – PetroEcuador “Los Sauces”
		Tipo de vía	Carretera
Datos del vehículo			
Marca	Mazda	Modelo	929
Año	1978	Cilindraje	1769 cc
Variables			
Iniciales		Finales	
Hora de inicio	07h45	Hora de finalización	09h07
Temperatura ambiente (°C)	10	Temperatura ambiente	CONTINÚA 

Presión de los neumáticos (psi)	30	Presión de los neumáticos (psi)	30
Kilometraje (km)	97295.2	Kilometraje (km)	97395.2
Altitud (m.s.n.m.)	2832	Altitud (m.s.n.m.)	2833
Humedad %	89	Humedad %	80
Resistencia del indicador Ω	2.5	Resistencia del indicador Ω	17.7
Volumen en el reservorio	16.9	Volumen en el reservorio	13.72
Resultados			
Diferencia de resistencia $\Delta\Omega$	15.2	Diferencia del volumen en el reservorio	3.18

Luego de completar el recorrido se tiene una variación de resistencia del indicador de combustible de 15.2 Ω , lo que traducido a diferencia de galones en el reservorio equivale a 3.18gal/100km

4.3.3. Segundo mapa

De la misma forma, se busca contar con condiciones ambientales similares a las pruebas anteriores, para lo cual los datos de la prueba se detallan en la tabla inferior.

Tabla 36

Datos del ensayo de consumo de combustible del vehículo con el mapa 2

Datos de la prueba			
Fecha	Julio 13 de 2019	Tramo	PetroEcuador “Los Sauces” – Tipo de vía Carretera Entrada al Parque Nacional Cotopaxi – PetroEcuador “Los Sauces”
Datos del vehículo			
Marca	Mazda	Modelo	929
Año	1978	Cilindraje	1769 cc
Variables			
Iniciales		Finales	
Hora de inicio	9h15	Hora de finalización	10h28
Temperatura ambiente (°C)	11	Temperatura ambiente (°C)	12
Presión de los neumáticos (psi)	30	Presión de los neumáticos (psi)	30
Kilometraje (km)	97416.7	Kilometraje (km)	98416.8
Altitud (m.s.n.m.)	2832	Altitud (m.s.n.m.)	2833
Humedad %	85	Humedad %	CONTINÚA 
Resistencia del indicador Ω	2.5	Resistencia del indicador Ω	17.3

Volumen en el reservorio	16.9	Volumen en el reservorio	13.81
Resultados			
Diferencia de resistencia $\Delta\Omega$	14.8	Diferencia del volumen en el reservorio	3.09

Al terminar la ruta establecida de 100km la diferencia de resistencia del indicador entre los datos iniciales y finales es de 14.8Ω , significando una variación de 3.09 gal en relación a la cantidad inicial del depósito.

4.4. Análisis de resultados

Con los resultados obtenidos a lo largo de las diferentes pruebas realizadas al vehículo, se puede establecer comparaciones en relación al equipamiento original del vehículo y al sistema de inyección electrónica.

4.4.1. Potencia y torque

Los resultados de los ensayos en el dinamómetro nos brindan los siguientes valores de torque y potencia, representados en Nm y HP respectivamente.

Tabla 37
Resultados de las pruebas de torque y potencia

RPM	Carburador		Mapa 1		Mapa 2	
	Potencia	Torque	Potencia	Torque	Potencia	Torque
2500	56.91	111.37				
2600	57.60	110.14				
2700	58.69	108.90				
2800	60.56	108.28				
2900	61.84	106.57				
3000	62.24	103.47	58.39	137.59	61.65	146.38
3100	63.91	102.79	60.17	139.25	63.52	146.61
3200	65.49	102.24	61.94	139.94		
3300	65.98	99.76	64.70	140.53		
3400	66.87	98.18	66.08	138.47	70.03	146.41

CONTINÚA 

3500	67.27	95.92	68.35	138.47	71.31	146.41
3600	67.76	93.99	71.21	139.94	73.48	145.82
3700	67.96	91.72	72.59	138.47	75.35	144.94
3800	68.15	89.39	75.55	140.14	77.72	145.14
3900	68.06	87.12	76.34	137.88	78.91	143.37
4000	67.17	83.89	78.02	137.49	80.48	142.39
4100	66.08	80.32	78.41	135.04	81.86	141.41
4200	64.51	76.54	79.60	134.06	83.05	140.14
4300	63.52	73.79	79.10	130.53	83.84	138.47
4400	60.86	69.05	15.49	25.01	16.18	26.09
4500	58.78	65.20	17.95	28.54	15.58	24.71

En la siguiente figura se reflejan los datos obtenidos de potencia luego de las pruebas realizadas en el dinamómetro, en ella se observa la diferencia en el resultado con las diferentes condiciones de operación.

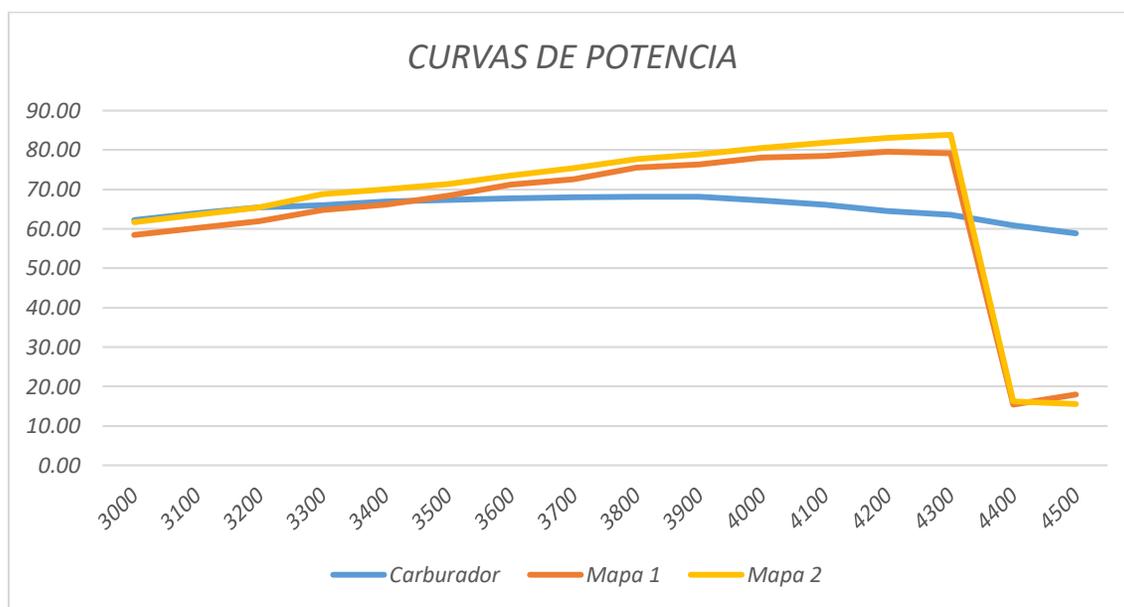


Figura 120. Curvas de potencia en diferentes condiciones de funcionamiento

Se puede observar que las curvas generadas por el vehículo luego de la implementación del sistema de inyección electrónica indican un gran incremento de potencia en comparación a la curva graficada por el sistema de alimentación a

carburador. La ganancia en relación con el mapa 1 se ve reflejada desde un régimen de giro del motor de 3500 rpm hasta su punto más elevado, 4200 rpm.

El mapa 2 indica una potencia inclusive mayor en relación al mapa 1 y en comparación a la curva del vehículo a carburador se observa un incremento a partir de 3200 rpm hasta su punto cúspide, 4300 rpm.

De la misma manera para cada configuración del vehículo se tiene una curva de torque diferente.

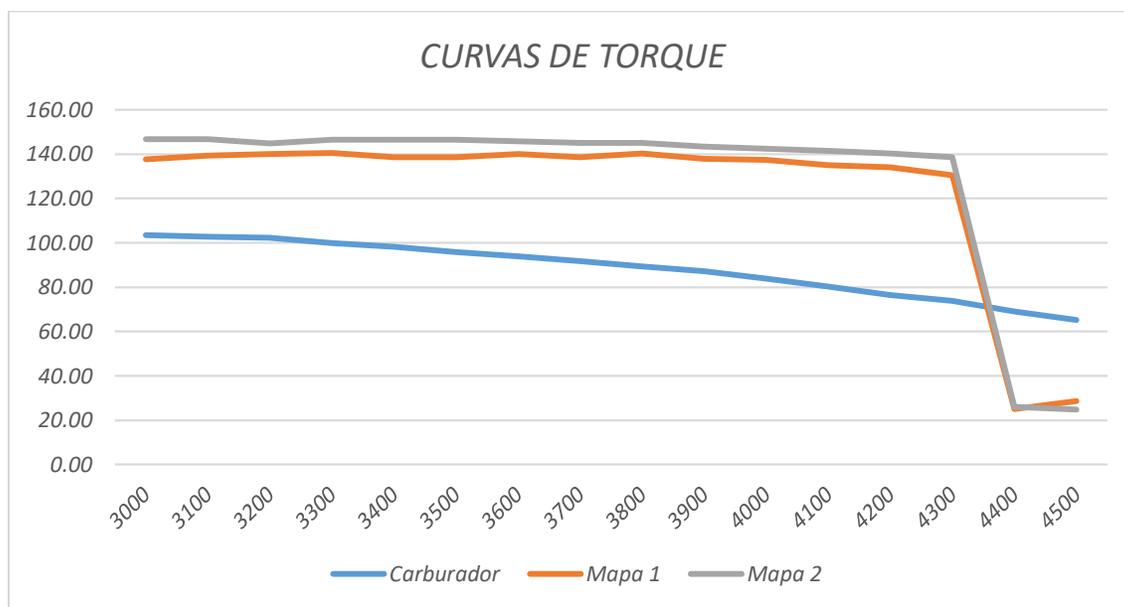


Figura 121. Curvas de torque en diferentes condiciones de funcionamiento

Las curvas de torque obtenidas con el vehículo equipado con el sistema de inyección electrónica muestran un incremento directamente proporcional a las revoluciones de giro del motor, contando al inicio con una ganancia discreta a 3000 rpm

y culminando con un aumento de casi el doble en relación a la inicial, tanto en el mapa 1 como el mapa 2 en comparación con la configuración de carburador.

De la misma manera el enfoque del mapa 2 de incremento de potencia se ve reflejado también en los valores de torque, demostrando un comportamiento más estable y mayor ganancia de par motor, en relación al discreto mapa 1.

En las pruebas de torque y potencia se obtienen valores máximos, que tienden a ubicarse en un régimen similar de operación.

Tabla 38
Valores máximos de potencia

Configuración	Potencia (HP)	rpm
Carburador	68.15	3800
Mapa 1	79.60	4200
Mapa 2	83.34	4300

La figura siguiente refleja los resultados de los ensayos dinamométricos en los puntos de máxima potencia de salida, obteniendo el mayor valor con el mapa 2.

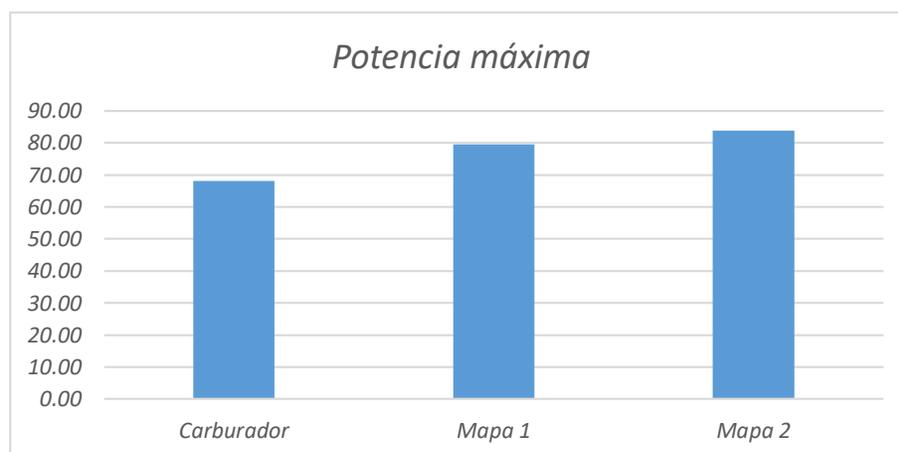


Figura 122. Resultados de potencia máxima

Los resultados del torque máximo de salida se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 39

Valores máximos de torque

Configuración	Torque (Nm)	rpm
Carburador	111.37	2500
Mapa 1	140.53	3100
Mapa 2	146.61	3300

A continuación, se observa la comparación entre los valores máximos de par motor obtenidos con diferentes condiciones de operación.

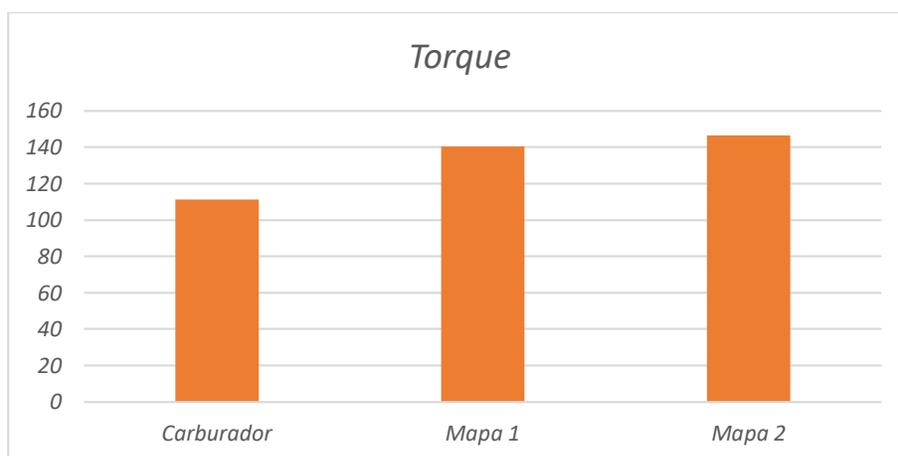


Figura 123. Resultados de par motor máximo

a) Margen de ganancia

Para calcular el margen de ganancia de potencia y par motor entre los resultados obtenidos luego de los ensayos con diferentes configuraciones del motor es necesario emplear la siguiente ecuación.

$$\%_{ganancia} = \left(\frac{V_{final}}{V_{inicial}} - 1 \right) * 100$$

Ecuación 10 Porcentaje de ganancia

Por lo que con los valores obtenidos de potencia entre el vehículo a carburador y equipado con el sistema de inyección electrónica bajo diferentes mapas se tiene los siguientes resultados.

Tabla 40
Porcentajes de ganancia de potencia y torque

	Parámetro	Variables			Fórmula	Resultado	Unidad
		Var	Valor	Und			
POTENCIA	Carburador vs	$P_{inicial}$	68.15				
	Mapa 1	P_{final}	79.60			16.79309862	
	Carburador vs	$P_{inicial}$	68.15		$\%_{ganancia} = \left(\frac{P_{final}}{P_{inicial}} - 1 \right) * 100$		
	Mapa 2	P_{final}	83.34	HP		23.01423855	
	Mapa 1 vs	$P_{inicial}$	79.60				
	Mapa 2	P_{final}	83.34			5.326633166	
TORQUE	Carburador vs	$T_{inicial}$	111.37				
	Mapa 1	T_{final}	140.53			26.18299362	
	Carburador vs	$T_{inicial}$	111.37		$\%_{ganancia} = \left(\frac{T_{final}}{T_{inicial}} - 1 \right) * 100$		
	Mapa 2	T_{final}	146.61	Nm		31.6422735	
	Mapa 1 vs	$T_{inicial}$	140.53				
	Mapa 2	T_{final}	146.61			4.326478332	

En la tabla anterior se detallan los porcentajes de ganancia de potencia y par motor entre una configuración y otra. La mayor ganancia de potencia se establece entre la obtenida con carburador y con el mapa 2 del sistema de inyección electrónica, ostentando un 23.014% de incremento de caballaje.

De la misma manera el mayor incremento de par motor se encuentra al comparar el resultado del vehículo a carburador con el del mapa 2 del sistema de inyección electrónica, alcanzando un 31.64% de ganancia de torque.

Al establecer la comparación entre el mapa 1 y mapa 2 del sistema de inyección electrónica se obtiene un margen de ganancia discreto entre las magnitudes dinamométricas, siendo este de 5.32% y 4.32% en potencia y par motor, respectivamente.

4.4.2. Emisiones contaminantes

Para establecer una comparación entre el sistema de alimentación a carburador y el sistema de inyección electrónica es prudente analizar cada uno de los componentes de los gases emitidos por el escape.

a) Monóxido de carbono

En la siguiente figura se muestran los valores obtenidos de porcentaje de monóxido de carbono emitidos por la combustión.

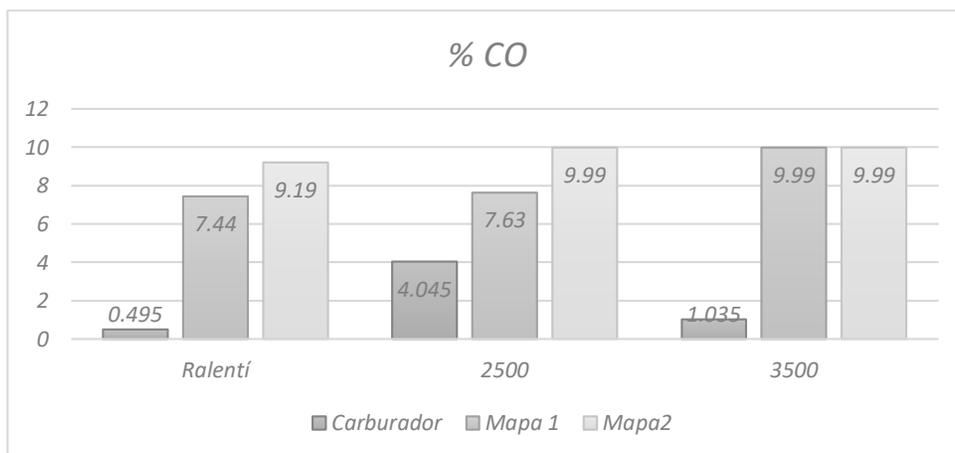


Figura 124. Porcentaje de CO en cada configuración del vehículo

Se tiene valores sumamente elevados de monóxido de carbono luego de la implementación del sistema de inyección electrónica, principalmente en el mapa 2, debido al incremento de eficiencia volumétrica que afecta directamente al tiempo de apertura de los inyectores, lo que significa una mayor cantidad de combustible inyectado por la exigencia del incremento de potencia.

b) Dióxido de carbono

La gráfica de barras en la parte inferior representa los índices de dióxido de carbono para cada configuración del vehículo.

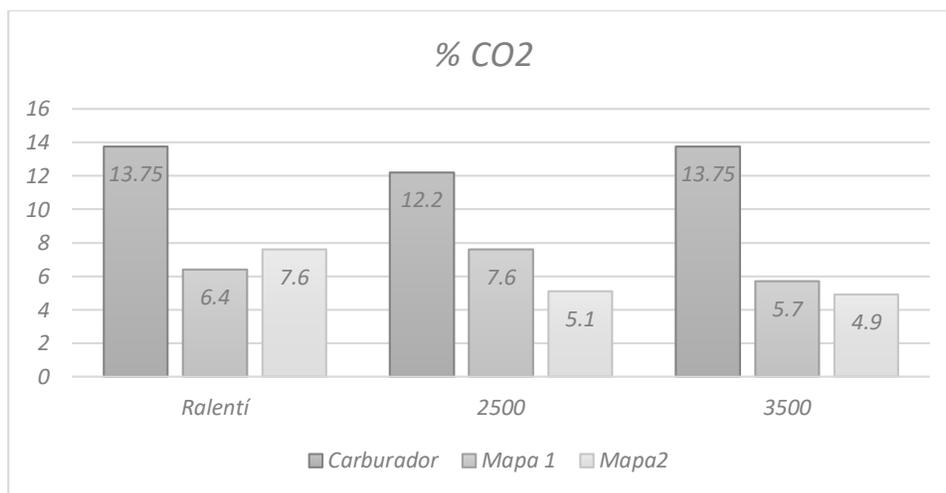


Figura 125. Porcentaje de CO₂ en cada configuración del vehículo

Encontramos concentraciones más grandes de dióxido de carbono con el vehículo a carburador debido a la combustión incompleta de la mezcla, en relación a la configuración de inyección electrónica, teniendo los valores más bajos con el mapa 2 a un régimen de revoluciones medio.

c) Hidrocarburos

Los hidrocarburos se encontrarán en partes por millón, como se observa en el gráfico a continuación.

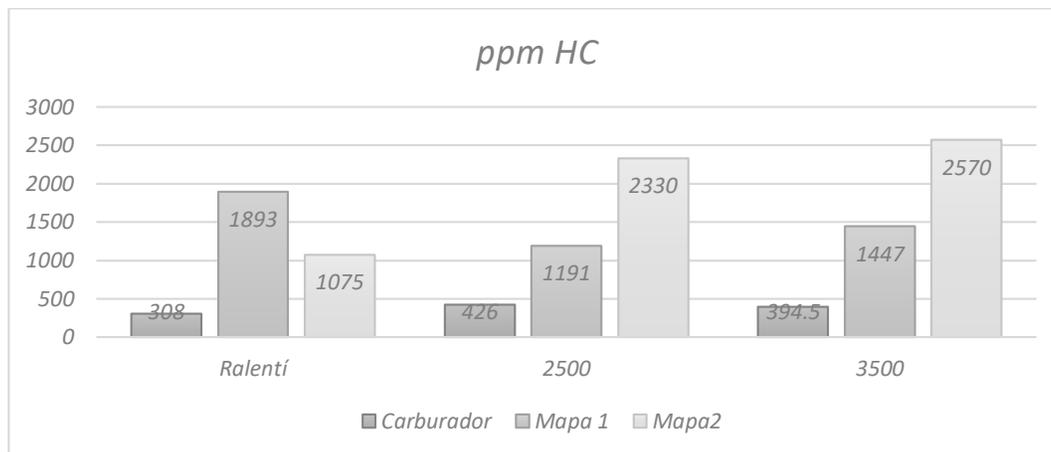


Figura 126. Cantidad de hidrocarburos en cada configuración del vehículo

La cantidad de hidrocarburos presentes en el escape son el reflejo del tipo de mezcla que ingrese al cilindro, tanto para el mapa 1 como para el mapa 2 se obtienen elevadas partes por millón de este componente debido al enriquecimiento de la mezcla para compensar el incremento de potencia esperado, es así, que en la segunda configuración de inyección electrónica se encuentran las cantidades más grandes.

d) Óxidos de nitrógeno

Al igual que el componente anterior, se expresa en partes por millón, los diferentes valores de óxidos de nitrógeno se encuentran en la figura siguiente.

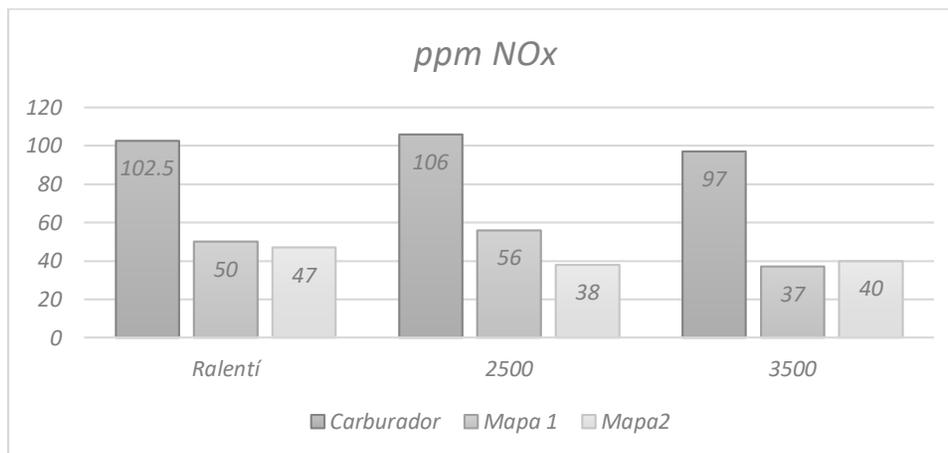


Figura 127. Cantidad de NO_x para cada configuración del vehículo

Los óxidos de nitrógeno tienen lugar cuando la temperatura del motor es muy elevada y también por un adelanto al encendido incorrecto, debido a ello, con la configuración del vehículo a carburador se tienen grandes cantidades de NO_x en relación a los mapas del sistema de inyección electrónica. Además, en el mapa 2 se cuenta con una disminución de este gas por la mejora del adelanto al encendido y la refrigeración de las cámaras de combustión por el incremento de la eficiencia volumétrica.

4.4.3. Consumo de combustible

El análisis del consumo de combustible se enfoca en cuantificar la cantidad de galones que necesita el vehículo para recorrer una distancia de 100 km, de esta manera, los resultados adquiridos durante las pruebas realizadas permiten obtener los siguientes resultados.

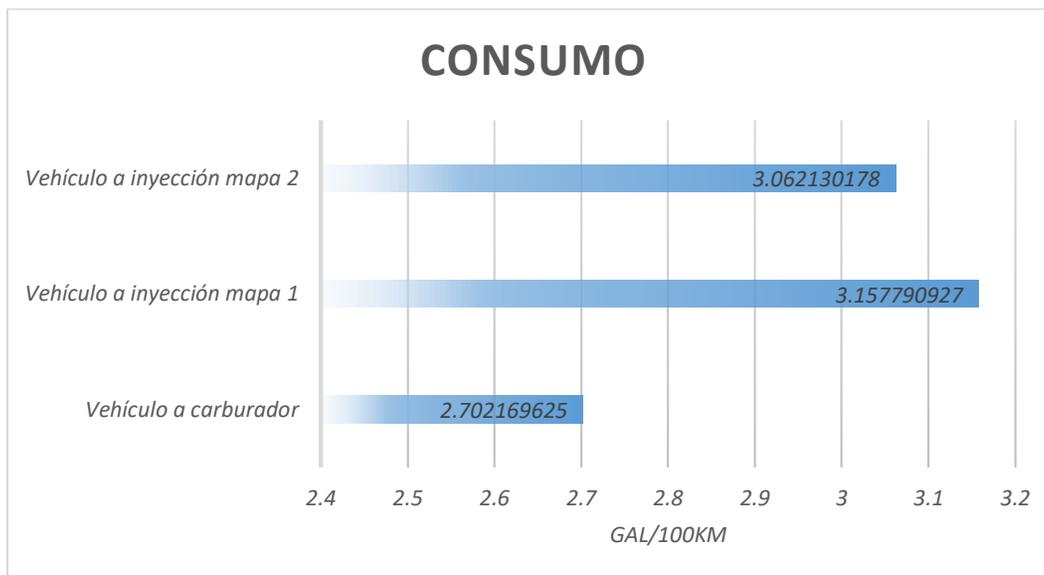


Figura 128 Consumo de combustible en cada configuración del vehículo0

En las configuraciones del vehículo implementado con el sistema de inyección electrónica se tiene un incremento en la cantidad de combustible requerido para completar la misma ruta.

$$\%_{\text{incremento}} = \left(\frac{C_{\text{mapa 1}}}{C_{\text{carburador}}} - 1 \right) * 100$$

$$\%_{\text{incremento}} = \left(\frac{3.158}{2.702} - 1 \right) * 100$$

$$\%_{\text{incremento}} = 16.86131387$$

El consumo de combustible en relación al carburador y al mapa 1 incrementa en un 16.8%.

$$\%_{\text{incremento}} = \left(\frac{C_{\text{mapa 2}}}{C_{\text{carburador}}} - 1 \right) * 100$$

$$\%_{\text{incremento}} = \left(\frac{3.062}{2.702} - 1 \right) * 100$$

$$\%_{\text{incremento}} = 13.3211679$$

El incremento de consumo de combustible entre el carburador y el mapa 2 refleja un incremento del 13.3%, siendo este último más eficiente en cuanto a ciclos de conducción se refiere.

El mapa 2 posee una mejor economía de combustible en relación al mapa 1 debido a que necesita menor tiempo para alcanzar su velocidad crucero donde los valores de eficiencia volumétrica tienden a ser menores que en zonas de apertura total del acelerador (WOT)

4.5. Cálculos del ciclo termodinámico del motor

En el funcionamiento del motor de combustión interna se ven inmersos una gran cantidad de parámetros, debido a que, durante cada ciclo completado por el cigüeñal, en el interior de los cilindros, tienen lugar los procesos termodinámicos de admisión, compresión, combustión y escape, y cada uno posee valores diferentes de presión y temperatura, por los fenómenos que influyen en ellos al completarlos.

4.5.1. Datos para los cálculos del ciclo termodinámico

Para iniciar el cálculo de los parámetros del motor es necesario conocer inicialmente los factores que vuelven característico a la unidad de potencia del vehículo, los cuales están descritos en la tabla a continuación.

Tabla 41*Datos del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929*

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad
Ciclos del motor	τ	4	
Número de cilindros	i	4	
Diámetro del cilindro	D	80	mm
Carrera del pistón	s	88	mm
Longitud de biela	L	144	mm
Cilindrada total	V_H	1769	cc
Relación de compresión	ε	8.6	
Revoluciones del motor	n	3800	rpm
Diámetro del pistón	D_p	79.954	mm
Diámetro de la válvula de admisión	D_{ad}	42	mm

Fuente: (Toyo Kogyo Co., Ltd., 1976)

En seguida en la tabla se detallan los valores a los cuales se encuentra sometido el funcionamiento del motor del vehículo Mazda 929, con las condiciones atmosféricas de la ciudad de Latacunga.

Tabla 42*Parámetros atmosféricos*

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad
Altura		2797	msnm
Temperatura ambiente	T_o	291.15	K
Humedad		59	%
Presión atmosférica	P_o	0.0726606	MPa
Densidad del aire	ρ_o	0.8641573	Kg/m ³

Adicional a lo anterior, es necesario el valor de ciertos coeficientes que intervienen en el cálculo del ciclo termodinámico del motor del vehículo, los cuales se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla 43
Coefficientes involucrados en el ciclo termodinámico

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad
Coefficiente de gases residuales	γ_r	0.06	
Exponente politrópico de compresión	n_1	1.34	
Coefficiente real de variación molecular	μ_r	1.075	
Coefficiente de redondeamiento	φ_i	0.97	
Temperatura de calentamiento de la carga	ΔT	10	
Coefficiente de aprovechamiento de calor	ξ_z	0.85	
Sumatoria de coeficientes de amortiguación de la velocidad de la carga y de resistencia del sistema	$\beta^2 + \xi_{ad}$	2.8065287	
Temperatura de gases residuales	T_r	920.435246	K
Temperatura de combustión	T_z	2617.54462	K
Exponente politrópico de expansión	n_2	1.25742708	
Coefficiente A para pérdidas mecánicas	A	0.05	
Coefficiente B para pérdidas mecánicas	B	0.0155	

Fuente: (Jóvaj, 1982)

4.5.2. Cálculo de factores mecánicos

En la tabla que continúa, se detallan los cálculos de los indicadores relacionados con la mecánica del motor, necesarios para proseguir con los resultados del ciclo termodinámico.

Tabla 44
Cálculo de parámetros mecánicos

Parámetro	Variables			Fórmula	Resultado	Unidad
	Var	Valor	Und			
Cilindrada unitaria	D	8	cm	$V_h = \frac{\pi * D^2 * s}{4}$	442.336246	cc
	s	8.8	cm			
Cilindrada total	i	4		$V_H = V_h * i$	1769.34498	cc
Radio del cigüeñal	s	88	mm	$R = \frac{s}{2}$	44	mm
Relación entre el radio de la manivela y la longitud de biela	R	44	mm	$\lambda = \frac{R}{L}$	0.30555556	
	L	144	mm			
Velocidad angular del cigüeñal	n	3800	rpm	$\omega = \frac{2\pi * n}{60}$	397.935069	rad/s
Velocidad máxima del pistón	R	44	mm	$c_{p \text{ máx}} = R * \omega * \sqrt{1 + \lambda^2}$	18.3082703	m/s
	ω	397.93507	rad/s			
Área de la cara del pistón	λ	0.306		$F_p = \frac{\pi D_p^2}{4}$	0.00502077	m ²
	D_p	0.079954	m			
Área de la sección de paso de la válvula	D_{ad}	0.042	m	$f_{ad} = \frac{\pi D_{ad}^2}{4}$	0.00138544	m ²
Velocidad media del aire en todo el proceso de admisión	$c_{p \text{ máx}}$	18.30827	m/s	$w_{ad} = \frac{c_{p \text{ máx}} * F_p}{f_{ad}}$	66.3481971	m/s
	F_p	0.0050208	m ²			
	f_{ad}	0.0013854	m ²			

4.5.3. Cálculo del ciclo termodinámico

Los datos de la tabla anterior son los necesarios para poder calcular los valores del ciclo termodinámico, sus resultados se muestran a continuación.

Tabla 45
Cálculos del ciclo termodinámico

Parámetro	Variables			Fórmula	Resultado	Unidad
	Var	Valor	Und			
ADMISIÓN Presión	P_o	0.07266	MPa	$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi_{ad}) * \frac{w_{ad}^2}{2} * \rho_o * 10^{-6}$	0.06732245	MPa
	$\beta^2 + \xi_{ad}$	2.80653				
	w_{ad}	66.3482	m/s			
Temperatura	ρ_o	0.86416	kg/m ³		336.203882	K
	T_o	291.15	K			

CONTINUA 

		ΔT	10				
		γ_r	0.06		$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r}$		
		T_r	920.435	K			
		P_a	0.06732	MPa			
COMPRESIÓN	Presión	ε	8.6		$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}$	1.20333862	MPa
		n_1	1.34				
	Temperatura	T_a	336.204	K			
		ε	8.6		$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1-1}$	698.766695	K
		n_1	1.34				
		P_c	1.20333	MPa			
COMBUSTIÓN	Presión	μ_r	1.075		$P_z = P_c * \mu_r * \frac{T_z}{T_c}$	4.25786569	MPa
		T_z	2617.54	K			
	Cantidad de calor suministrado	T_c	698.767	K			
		T_z	2617.54	K	$Q_1 = 0.718 * (T_z - T_c)$	1377.68255	KJ/Kg
		T_c	698.767	K			
EXPANSIÓN	Presión	P_z	4.25787	MPa			
		ε	8.6		$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}$	0.28453016	MPa
	Temperatura	n_2	1.25743				
		T_z	2617.54	K			
		ε	8.6		$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2-1}}$	1504.28072	K
		n_2	1.25743				

4.5.4. Cálculo de parámetros indicados y efectivos

Los cálculos del ciclo termodinámico nos brindan la facultad de obtener los resultados de los parámetros efectivos e indicados de la fase de trabajo del motor de combustión interna.

Tabla 46
Factores indicados y efectivos del motor

Parámetro	Variables			Fórmula	Resultado	Unidad
	Var	Valor	Und			
Grado de elevación de la presión	P_z	4.25787	MPa	$\lambda = \frac{P_z}{P_c}$	3.538377	
	P_c	1.20334	MPa			
Presión media indicada del ciclo (calculada)	P_a	0.06732	MPa		0.86430181	MPa
	ε	8.6				
	n_1	1.34				

CONTINÚA 

Tabla 47
Rendimientos del motor del vehículo Mazda 929

Parámetro	Variables			Fórmula	Resultado	Unidad
	Var	Valor	Und			
Volumétrico	ε	8.6		$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} * \frac{P_a}{P_o} * \frac{T_o}{T_a * (1 + \gamma_r)}$	85.66	%
	P_a	0.06732	MPa			
	P_o	0.07266	MPa			
	T_o	291.15	K			
	T_a	336.204	K			
	γ_r	0.06				
Térmico	T_b	1504.28	K	$\eta_t = 1 - \frac{T_b - T_a}{T_z - T_c}$	39.12	%
	T_a	336.204	K			
	T_z	2617.54	K			
	T_c	698.767	K			
Indicado	L_i	370.843	Nm	$\eta_i = \frac{L_i}{Q_1}$	26.92	%
	Q_1	1377.68	KJ/Kg			
Mecánico	N_e	34.4916	kW	$\eta_m = \frac{N_e}{N_i}$	73.43	%
	N_i	46.9734	kW			
Efectivo	η_m	0.73428		$\eta_e = \eta_m * \eta_i$	19.77	%
	η_i	0.26918				

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

5.1.1. Recursos humanos

El recurso humano que intervino a lo largo de la elaboración de la investigación, está enfocado en docentes y profesionales, quienes brindaron su conocimiento y su ayuda en todas las fases del proyecto hasta la culminación:

Tabla 48

Recursos humanos del proyecto de investigación

Nombre	Rol
Rodrigo Xavier Hidalgo	Investigador del proyecto
Ing. Germán Erazo	Tutor del proyecto
Ing. Leonidas Quiroz	Asesor pruebas de análisis de gases

5.1.2. Recursos tecnológicos

Se refiere a los recursos tecnológicos que se vieron involucrados en el proyecto de investigación con la finalidad de reducir el nivel de dificultad se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 49

Recursos tecnológicos del proyecto de investigación

Nombre	Descripción
Software SAENZ DYNO	Calibración y proceso de medición de la potencia y torque.
Software Brain Bee	Calibración y proceso de medición de emisiones contaminantes

CONTINÚA 

Software Microsoft Office	Elaboración del documento y tabulación de datos
Software RaceTec Manager	Configuración y calibración del módulo de inyección reprogramable

5.1.3. Recursos materiales

Involucra todos los elementos empleados para la realización del proyecto, los cuales se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 50

Recursos materiales del proyecto de investigación

Nombre	Rol
Vehículo Mazda 929	En él tiene lugar la elaboración del proyecto
Juego de dados, rache y llaves	Ensamble y desarmado de autopartes
Banco dinamométrico	Prueba dinámica de torque y potencia
Analizador de gases	Prueba de emisiones contaminantes
Multímetro	Mediciones de voltaje y resistencia de componentes eléctricos
Laptop	Redacción del documento

5.2. Presupuesto

En la tabla inferior se detalla el costo de los componentes y las pruebas necesarias que tuvieron lugar a lo largo del proyecto.

Tabla 51

Presupuesto del proyecto de investigación

Detalle	Cantidad	Costo
Módulo de inyección electrónica RaceTec R1000	1	800.00
ITB's Honda CBR 1000rr y TPS	1	400.00
Bomba de combustible	1	80.00
Base ITB's	1	100.00
Empaque admisión	1	3.00
Reluctor del cigüeñal	1	30.00
Bobina de encendido	1	70.00
Regulador de presión	1	60.00
Sensor CKP	1	20.00
Sensor CMP	1	20.00
Sensor ECT	1	10.00

CONTINÚA 

Filtro de combustible	2	10.00
Filtros ITB's	4	24.00
Mangueras (Gasolina, vacío)	8	23.00
Cañería	3	18.00
Sockets	8	25.00
Relés	3	15.00
Fusibles	5	0.75
Conectores	20	2.00
Cable flexible AWG16	8	4.00
Insumos (Cinta termocontraible, taípe, teflón, WD-40, entre otros)	1	20.00
Pruebas dinamométricas	5	150.00
Combustible	4	160.00
TOTAL		2044.75

CONCLUSIONES

- Se investigó el desempeño mecánico del motor de combustión interna del vehículo Mazda 929 al implementar un sistema de inyección secuencial reprogramable modulada con RaceTec R1000.
- Se recopiló información de fuentes bibliográficas como libros, artículos de revista, proyectos de investigación, patentes, entre otros, para realizar la modificación de los sistemas de inyección e ignición del vehículo. Además, se adquirió conocimientos relacionados a la repotenciación de motores, consecuencias y consideraciones para el buen funcionamiento de un motor de combustión interna.
- Se efectuó la afinación del vehículo Mazda 929 en varios de sus sistemas con la finalidad de contar con un motor puesto a punto para tomar la base de las comparaciones y análisis realizados luego de las pruebas dinamométricas, emisiones contaminantes y consumo de combustible.
- Se realizaron varias pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes del vehículo equipado con carburador.
- Se seleccionó los componentes más adecuados y compatibles con el módulo de inyección electrónica RaceTec R1000 para implementarlos en los nuevos sistemas de alimentación y encendido, enfocándose en utilizar elementos tanto mecánicos como electrónicos que brinden la mejor relación costo beneficio.
- Se implementó el sistema de inyección electrónica instalando los elementos seleccionados tomando como referencia las consideraciones indicadas en el manual del fabricante del módulo reprogramable RaceTec R1000.

- Se modificó los valores de eficiencia volumétrica y avance de encendido en los sistemas de inyección e ignición respectivamente empleando el software de control del módulo reprogramable RaceTec R1000.
- Se llevaron a cabo pruebas dinamométricas, de consumo de combustible y de emisiones contaminantes con el nuevo sistema de inyección electrónica reprogramable.
- Se realizó el análisis comparativo entre los datos obtenidos con el vehículo equipado con carburador y aquellos resultantes al implementar el sistema de inyección electrónica.
- Se obtuvo un incremento de potencia del 16.79% entre el vehículo con su equipamiento de fábrica y el mapa 1 del sistema de inyección electrónica, alcanzando una elevación de 11.45 HP realizando un mapa conservador que permita tener una conducción eficiente y estable, con respuestas precisas del acelerador.
- Se aumentó la potencia radicalmente de 68.15 HP a 83.84 HP con el mapa 2 del sistema de inyección electrónica, gracias al incremento de los parámetros de avance de encendido y eficiencia volumétrica, alcanzando un valor máximo de 32° de adelanto y 41.4% respectivamente, en la zona de apertura total del acelerador, en el régimen de revoluciones base en relación a los resultados obtenidos con la configuración de carburador, cuidando de que el funcionamiento del motor de combustión interna fuese el adecuado sin presencia de contra explosiones en el escape o auto detonaciones en el sistema de admisión.

- Se elevó los valores de par motor con el mapa 1 y 2 del sistema de inyección electrónica, en relación al vehículo con carburador, alcanzando incrementos de 29.16 Nm en la configuración conservadora y de hasta 35.24 Nm en el mapa de máxima potencia, con la entrega de un torque estable en todo el régimen de revoluciones en condiciones de apertura total del acelerador (WOT), generando un curva más suave y constante en comparación con la inicial.
- Con el empleo del analizador de gases se obtuvo las lecturas de cantidades de emisiones contaminantes, resultando en un incremento de los porcentajes de monóxido de carbono, y de partes por millón de hidrocarburos, alcanzando cifras de 9.99 % y 2570 ppm respectivamente debido a la presencia de la mezcla rica en el ingreso del cilindro, consecuencia de un flujometría pobre de los filtros empleados para los cuerpos de aceleración individuales, restringiendo en gran medida el paso de aire a las cámaras de combustión.
- Se consiguió una disminución en las cantidades de óxidos de nitrógeno emitidos, estos dependen en gran medida de las temperaturas de combustión y del avance de encendido, resultando en valores menores con el mapa 2, debido a un incremento de 10 % del adelanto, brindando más tiempo para la quema completa de la mezcla en el interior del cilindro.
- Las pruebas de consumo de combustible reflejan un incremento de 16.86% en el mapa 1 y de 13.32% en el mapa 2, el incremento de combustible se debe a los valores con los que se trabajó en las tablas de eficiencia volumétrica, sin embargo, la diferencia entre el mapa conservador (16.86%) y el mapa de potencia (13.32%)

es consecuencia del mayor tiempo que requiere el motor para alcanzar la zona de velocidad crucero, pues al tener una potencia reducida en contraste con la segunda configuración, se demanda una mayor exigencia de cargas del motor.

RECOMENDACIONES

- Durante los diferentes ensayos tomar en cuenta los protocolos y las consideraciones indicadas en el proyecto de investigación, además de utilizar equipos de protección cuando sea necesario para precautelar la seguridad del ocupante.
- Al momento de realizar la instalación de los componentes inmersos en el sistema de inyección electrónica desconectar la batería del vehículo para evitar contactos indebidos entre los polos, además de seguir rigurosamente el diagrama indicado en el manual del equipo para evitar interferencias en la comunicación de los sensores o actuadores.
- Antes de dar el primer arranque al motor verificar que toda la conexión de los componentes electrónicos sea la correcta, midiendo continuidad entre el cableado de comunicación o voltajes de encendido, también revisar las líneas de alimentación de combustible y refrigeración para cerciorarse de la ausencia de fugas en cualquiera de los sistemas involucrados.
- Para la calibración del vehículo se recomienda el uso de un sensor de oxígeno de banda ancha para una lectura de mayor precisión por parte del módulo de inyección reprogramable, puesto que, informará al afinador sobre el enriquecimiento de la mezcla que ingresa al cilindro.
- Durante la afinación de los mapas se debe tomar en cuenta las modificaciones del motor de combustión, pues componentes mecánicos standard presentarán una menor resistencia en contraste con autopartes orientadas a vehículos de

competición, es así, que un elevado adelanto de encendido podría desembocar en el picado de los componentes en el interior del cilindro, además del tipo de gasolina empleada para su funcionamiento enfocándose en su capacidad antidetonante.

- Investigar acerca de la flujometría de los filtros existentes en el mercado, pues la restricción generada en el sistema de admisión se ve reflejada en las concentraciones de gases contaminantes producidos por la combustión, dejando la mezcla demasiado rica, además de una posible sobrealimentación de combustible al motor, corriendo el riesgo de ahogarlo.
- Investigar sobre la incidencia que tiene el avance de encendido sobre las cantidades de los gases emitidos por el motor, ya que, principalmente las partes por millón de óxidos de nitrógeno se ven afectadas por el avance de encendido y la temperatura de funcionamiento del motor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Augeri, F. (2015). *Cise Electronics Corp.* Retrieved Febrero 4, 2019, from <http://www.cise.com>

Banish, G. (2007). *Engine Management Advanced Tuning*. North Branch: CarTech (R), Inc.

Banish, G. (2009). *Designing and Tuning High-Performance Fuel Injection Systems*. North Branch: CarTech.

Bel, E. (2016). *Used motorparts*. Retrieved Junio 23, 2019, from Used motorparts Web site: <http://usedmotoparts.es/relacion-airecombustible-idonea/>

Benítez, R., & Ochoa, J. (2009). *Sistema de combustible con carburador e introducción a la inyección electrónica*. México, D. F.: Zona Gráfica.

Bernal, J. (sf). *Inyección Electrónica de Gasolina*. Cúcuta.

BOSCH. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina*. Stuttgart: Reverte.

BOSCH. (2008). *Sistemas de Inyección Electrónica*. México, D.F.

BOSCH. (2015). *Sistemas de Inyección Electrónica Componentes y características*. México, D.F.

Bowling, B., & Grippo, A. (2013). *United States Patent No. US 8.375.777 B2*.

Brain Bee® Automotive. (s.f.). *Brain Bee Workshop Solutions*. Retrieved Abril 24, 2019, from Brain Bee Workshop Solutions Web site: <https://www.brainbee.it>

Buitrón, B., & Narváez, D. (2018). *Mapeo del control electrónico del motor Kawasaki ZX-6R del vehículo Formula Student SAE para reducción de combustible y emisiones de gases contaminantes*. Latacunga.

Cabura. (2016, Mayo 31). *3DExport*. Retrieved Julio 1, 2019, from 3dexport Web site: <https://es.3dexport.com/3dmodel-individual-throttle-bodies-122012.htm>

Checkoway, S., McCoy, D., Kantor, B., Andreson, D., Shacham, H., Savage, S., . . . Kohno, T. (2011). Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces. *USENIX Security Symposium*.

Chontasi, L., & Vinlasaca, L. (2018). *Investigación del desempeño del motor J14F003885 al implementar un sistema de inyección de combustible modificado electrónicamente a través de software dedicado*. Latacunga.

Cramer, M., & Hoffman, J. (2010). *Performance Fuel Injection Systems*. New York: HPBooks.

Crouse, W. (2005). *Motores, Tomo 1, Puesta a Punto y Rendimiento del Motor*. México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor.

Díaz, M. J., & Sopa, L. G. (2013). *Reprogramación electrónica del vehículo corsa evolution 1.4, para elevar los parámetros característicos del motor de combustión interna*. Latacunga.

Erkis, B., Sürmen, A., & Karamangil, I. (2013). A comparative study of carburation and injection fuel supply methods in an LPG-fuelled SI engine. *Fuel*, 511-517.

Federal - Mogul Motorparts. (sf). *Información completa sobre las bobinas de encendido*. Kontich: Prins Boudewijnlaan.

Fernandez, S. (2010, Septiembre 30). *Cise Electronics Corp*. Retrieved Enero 30, 2019, from <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/174-introducci%C3%B3n-al-flash-y-reprogramaci%C3%B3n-j2534.html>

Gismero, A. (2017). *Diseño y optimización de la cartografía motor en un vehículo Formula SAE*. Madrid.

González, D. (2015). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Madrid: Paraninfo SA.

González, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo.

Gupta, I., Kandari, S., Rajput, A., Asif, M., & Singh, A. (2013). Multipoint Fuel Injection System. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 642-647.

Hartman, J. (2013). *How to tune and modify automotive engine management systems*. China: Motorbooks Workshop.

HELLA GmbH & Co. KGaA. (sf). *La electrónica del automóvil, explicada con claridad. Parte 1*. Lippstadt: Rixbecker Strabe 75.

Hernandez, J. (2017, Agosto). *Researchgate*. Retrieved Mayo 18, 2019, from Researchgate Web site: https://www.researchgate.net/figure/Figura-228-Ubicacion-del-puerto-OBD-II-94_fig2_320056629

Honda CBR1000 Forum. (2007, Julio 20). Retrieved Mayo 12, 2019, from Honda CBR1000 Forum Web site: <https://www.1000rr.net/forums/1000rr-exhaust-fuel-delivery/34721-05-injecotr-size.html>

IDAE. (2011). *Conducción eficiente de vehículos industriales*. Madrid: Sedán.

Isermann, R. (2014). *Engine Modeling and Control*. Berlin: Springer - Verlag.

Jóvaj, M. S. (1982). *Motores de automóvil*. Moscú: MIR.

López, J. L. (2013). *Evaluación del consumo de combustible de vehículos livianos en el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.

Luna, J. (2017). *Diagnóstico electrónico de los sensores del Sistema de Inyección a Gasolina*. Quito.

Madriñán, S. (2015). *Estudio de la eficiencia del ciclo de un motor de encendido Por chispa de 5 tiempos*. Bogotá.

Mastech ®. (2017). *Mastech Group Limited*. Retrieved Abril 24, 2019, from Mastech Group Limited Web site: <http://www.mastech-group.com>

Mazda. (1974). *Mazda 929 Owner's Manual*. Hiroshima.

Meganeboy, D. (2016, Enero 17). *Aficionados a la mecánica*. Retrieved Febrero 12, 2019, from Aficionados a la mecánica Web site: <http://www.aficionadosalamecanica.net/carburador2.htm>

Mena, L. (2011). *Compilador de Ejercicios de Motores de Combustión Interna Diesel - Gasolina*. Quito: Imprenta Nueva Aurora.

Núñez, E., & Tite, E. (2013). *Modificación mecánica y electrónica de un motor Corsa Wind 1300 cc distribución OHC con la implementación de una unidad de control electrónico programable y un sistema de distribución DOHC de 16 válvulas*. Riobamba.

Oshana, R., & Kraeling, M. (2013). *Software Engineering for Embedded Systems: Methods, Practical Techniques, and Applications*. Massachusetts: Elsevier.

Palomares, J. (2014, Abri 17). *LinkedIn Corporation*. Retrieved Enero 30, 2019, from SlideShare Web site: https://es.slideshare.net/jimpalomares/carburacin-33655696?from_action=save

Panadero, J. (2012, Julio 3). *Diariomotor*. Retrieved Febrero 12, 2019, from <https://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/07/03/ecu-que-es-y-el-porque-de-su-existencia/>

Pardiñas, J. (2012). *Sistemas de alimentación en motores Otto II (Sistemas auxiliares del motor)*. Madrid: Editex.

Penninger, A., Lezsovits, F., Rohály, J., & Wolff, V. (2006). *Internal Combustion Engines*. Budapest.

Pham, P., Vo, D., & Jazar, R. (2017). Development of fuel metering techniques for spark ignition engines. *Fuel*, 701 - 715.

Pruebaderuta. (s.f.). *Talleres y repuestos*. Retrieved Enero 25, 2019, from Talleres y repuestos Web site: <https://talleresyrepuestos.com/documentacion-tecnica/mantenimiento-del-motor/604-partes-del-carburador>

Pumarica, D., & Tonato, M. (2018). *Investigación para elevar los parámetros de desempeño del motor de combustión interna T18SED L4 DOHC 1.8L a través de la reprogramación electrónica mediante la conexión en paralelo de una ecu programable*. Latacunga.

RaceTec. (s.f.). *RaceTec Automotive Electronics*. Retrieved Diciembre 3, 2018, from RaceTec Automotive Electronics: <http://www.racetec.com.ar>

Rodríguez, J. C. (2013). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. Málaga: IC Editorial.

Saenz. (2016). *Saenz Dinamómetros*. Retrieved Abril 11, 2019, from Saenz Dinamómetros Web site: <http://www.saenzdynos.com.ar>

Sanz, S. (2011). *Motores*. Editex.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. México, D.F.

Semanate, D. (2016). *Reprogramación de la unidad de control electrónica del vehículo Honda Civic SI, para mejorar los parámetros característicos del motor de combustión interna serie D16A9*. Latacunga.

Skala, F. (2008). *Programación J2534*. Buenos Aires.

Song, S.-E., & Kwon, H.-H. (2011). A Study on the Cold Forging Development of Guide Valve for the Fuel Pressure Regulator. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, 331-336.

Starconnect. (s.f.). *Shanghai Star Electronic Technology Co., Ltd*. Retrieved Mayo 12, 2019, from Shanghai Star Electronic Technology Co., Ltd: <http://www.starconnect.com.cn/connectors/auto-81%20pin-male-ecu-connector.html>

Toyo Kogyo Co., Ltd. (1976). *Mazda 929 . 121 Workshop Manual Engine*. Hiroshima.

UsersLife. (2016). Los circuitos del carburador. *UsersLife*, 15-18.

Veloz, J. (2019). *Investigación del desempeño mecánico del motor de combustión interna 250cc para la competición Motostudent al implementar un sistema programable Microsquirt*. Latacunga.

Wong, P. K., Tam, L. M., & Li, K. (2012). Automotive engine power performance tuning under numerical and nominal data. *Control Engineering Practice*, 300-314.

Zardini, A., Suarez-Bertoa, R., Forni, F., Montigny, F., Garcia-Otura, M., Carriero, M., & Astorga, C. (2019). Reducing the exhaust emissions of unregulated pollutants from small gasoline engines with alkylate fuel and low-ash lube oil. *Environmental Research*, 203-214.

ANEXO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor HIDALGO VENEGAS RODRIGO XAVIER.

En la ciudad de Latacunga a los 23 días del mes de julio de 2019.

Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA CARRERA

Aprobado por:



Ab. Darwin Albán
SECRETARIO ACADÉMICO