



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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS
CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
146 A.ED FIAT, CON EL USO DEL MÓDULO DE ENCENDIDO
MULTICHISPA STREET FIRE-MSD”**

**AUTORES: ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS
LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2017



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación, “DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 146 A.ED FIAT, CON EL USO DEL MÓDULO DE ENCENDIDO MULTICHISPA STREET FIRE-MSD” realizado por los señores ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS y LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS y LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, febrero del 2017

Ing. Germán Erazo

DIRECTOR



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS, con cédula de identidad N° 0502998644 y LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA, con cédula de identidad N° 0104679477, declaramos que este trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 146 A.ED FIAT, CON EL USO DEL MÓDULO DE ENCENDIDO MULTICHISPA STREET FIRE-MSD” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, febrero del 2017



ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS

C.C.: 0502998644



LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA

C.C.: 0104679477



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

AUTORIZACIÓN

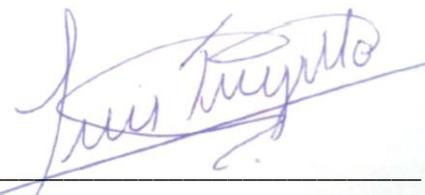
Nosotros *ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS* y *LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 146 A.ED FIAT, CON EL USO DEL MÓDULO DE ENCENDIDO MULTICHISPA STREET FIRE-MSD” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, febrero del 2017



ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS

C.C.: 0502998644



LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA

C.C.: 0104679477

DEDICATORIA

Este presente trabajo de grado dedico a mis padres y mi hermana que me han sabido brindar apoyo incondicional en a la culminación de esta meta, a mis tías que me acogieron en su hogar y a todas la personas que confiaron en mi para lograr este objetivo planteado durante mi vida.

Esteban Rodrigo Tovar Cárdenas

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi familia.

A mi papá que con sus consejos y sabiduría ha formado en mí una persona de bien.

A mi mamita que por su amor, ternura y paciencia he logrado terminar este paso importante en mi vida profesional.

A mi hermano Carlitos por estar siempre pendiente de mí apoyándome en cada momento y por todas las veces que he necesitado su ayuda él siempre ha estado presente.

A mi hermana Nenita por brindarme su apoyo incondicional y cariño.

A mis abuelitos Luchito, Ofelita y Angelita por el amor que me han demostrado.

Luis Fernando Trujillo Cadena

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a dios que me supo brindar todas sus bendiciones y me supo guiar a lo largo de esta carrera universitaria.

A mis padres y a mi hermana por ser el pilar fundamental en mi vida, brindándome amor, paciencia, apoyo absoluto, cariño y su amistad incondicional.

A mis tías que me supieron acoger como un hijo y brindarme un hogar y paciencia al tenerme todo este tiempo.

A todos mis amigos que me supieron brindar una amistad sincera y han aportado de una u otra manera para la realización de este proyecto brindando su ayuda oportuna y sus consejos.

A mis maestros quienes me transfirieron sus conocimientos con mucha paciencia de manera apropiada y de manera especial al Ing. German Erazo que con su colaboración ayudo a la realización de este proyecto de titulación.

Esteban Rodrigo Tovar Cárdenas

AGRADECIMIENTO

A mi madre por su apoyo incondicional, que a pesar de todos los altibajos en el trayecto de mi vida universitaria, nunca dejo de confiar en mí y siempre estuvo presente.

A mi padre por ser mi ejemplo a seguir, por proporcionarme todo los medios necesarios para poder culminar mi carrera universitaria.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, a los profesores por los conocimientos adquiridos.

A las grandes amistades que hice en las aulas de clases y fuera de ellas, a todos los momentos vividos.

Agradezco al Ingeniero Germán Erazo por todos los conocimientos que nos impartió en sus clases y en la realización de este proyecto.

Luis Fernando Trujillo Cadena

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxi
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
PRESENTACIÓN	xxiv

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	4
1.4. Justificación e importancia	4
1.4.1. Interés de la investigación	5
1.4.2. Utilidad teórica	5
1.4.3. Utilidad práctica	6
1.4.4. Utilidad metodológica.....	6
1.4.5. Factibilidad.....	6

		x
1.5.	Objetivos.....	6
1.5.1.	Objetivo general.....	6
1.5.2.	Objetivos específicos.....	7
1.6.	Metas.....	7
1.7.	Hipótesis.....	8
1.8.	Variables de la investigación.....	8
1.8.1.	Variable independiente.....	8
1.8.2.	Variable dependiente.....	8
1.9.	Operacionalización de las variables.....	8
1.10.	Metodología de desarrollo del proyecto.....	9

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	14
2.1.	Parámetros característicos del MCI.....	14
2.1.1.	Torque o par motor.....	14
a.	Curva de par motor.....	15
2.1.2.	Potencia.....	16
2.1.3.	Potencia Efectiva.....	18
2.1.4.	Consumo específico de combustible.....	19
2.2.	Parámetros termodinámicos.....	21
2.2.1.	Presión media efectiva.....	21
2.3.	Rendimiento del motor de combustión interna.....	22
2.3.1.	Rendimiento térmico.....	23
2.3.2.	Rendimiento mecánico.....	23
2.3.3.	Rendimiento indicado.....	24
2.4.	Emisiones contaminantes.....	24

2.4.1.	Oxígeno	25
2.4.2.	Hidrocarburos no quemados	25
2.4.3.	Monóxido de carbono.....	25
2.4.4.	Dióxido de carbono	26
2.5.	Momento de encendido	26
2.5.1.	Variación del momento de encendido	26
2.5.2.	Ángulo dwell.....	27
2.6.	Bobina de encendido	27
2.6.1.	Función	28
2.6.2.	Generación de alta tensión	29
2.6.3.	Generación de campo magnético	30
2.6.4.	Circuito primario.....	30
2.6.5.	Circuito Secundario.....	32
2.6.6.	Cálculo de Bobinas	34
2.6.7.	Tiempo de quemado	35
2.7.	Encendido multichispa	37
2.7.1.	Módulo de encendido multichispa MSD Street Fire	37
2.7.2.	Funcionamiento	38
2.7.3.	Diagrama de conexión	39
2.8.	Bobina de alto rendimiento MSD Blaster 2	40
2.8.1.	Diagrama de conexión	41
2.9.	Dinamómetro de rodillos	41
2.9.1.	Elemento del dinamómetro de rodillos	42
2.9.2.	Características principales	43
2.9.3.	Control	44
2.10.	Osciloscopio automotriz.....	44

2.10.1. Características osciloscopio OWON PDS5022T	45
2.11. Analizador de gases	46
2.11.1. Elementos del analizador de gases	47
2.11.2. Características del analizador de gases	47

CAPÍTULO III

3. INSTALACIÓN DEL MÓDULO DE ENCENDIDO	
MULTICHISPA MSD STREET FIRE Y PROTOCOLO	
DE PRUEBAS	49
3.1. Implementación del dispositivo	49
3.1.1. Características de fábrica del vehículo FIAT MILLE 1.3	49
3.1.2. Identificación del tipo de encendido	50
3.1.3. Ubicación de los elementos para la implementación	50
3.1.4. Instalación del módulo de encendido multichispa	51
3.1.5. Conexión eléctrica	51
3.2. Protocolo de ensayo en el banco dinamométrico	55
3.3. Configuración del banco dinamométrico	58
3.3.1. Funciones software BLAHA	62
3.4. Uso del osciloscopio OWON PDS5022T	64
3.4.1. Protocolo de ensayo osciloscopio OTC	65
3.5. Protocolo de ensayo pruebas de consumo de combustible	68
3.6. Protocolo de ensayo analizador de gases	70

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS	
ENSAYOS DINAMOMÉTRICOS Y GASES	74
4.1. Tabulación de resultados	74

4.1.1.	Tabulación de curvas de rendimiento	74
4.1.2.	Tabulación del análisis de gases de escape.....	82
4.1.3.	Tabulación de las pruebas de consumo de combustible.....	83
4.2.	Análisis de resultados	84
4.2.1.	Curvas de rendimiento	84
4.2.2.	Análisis de gases de escape.....	87
4.2.3.	Consumo de combustible.....	91
4.3.	Matematización de cálculos.....	92
4.3.1.	Cálculo de potencia y consumo	92
4.3.2.	Cálculo del consumo específico de combustible.....	96
4.3.3.	Cálculo de rendimientos.....	97
4.4.	Comparación entre valores calculados, indicados y experimentales	98
4.5.	Comparación de valores porcentuales.....	103
4.6.	Comparación de oscilogramas del primario y secundario.....	108

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO	111
5.1.	Factibilidad de la investigación	111
5.2.	Recursos.....	111
5.2.1.	Recursos humanos	111
5.2.2.	Recursos físicos.....	112
5.2.3.	Recursos materiales	112
5.2.4.	Recursos tecnológicos	113
5.3.	Presupuesto del proyecto	113
5.4.	Análisis de costo del proyecto	114

5.6. Cronograma.....	114
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES.....	120
BIBLIOGRAFÍA.....	121
NETGRAFÍA.....	122
ANEXOS.....	124

Anexo 1	Manual del motor 146 A.ED Fiat
Anexo 2	Manual instalación módulo de encendido multichispa MSD Street Fire
Anexo 3	Pruebas de potencia y torque
Anexo 4	Pruebas de emisiones de gases
Anexo 5	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2203:2000, gestión ambiental. aire. vehículos automotores. determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”. prueba estática. Ecuador.
Anexo 6	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN. 2204:2002 NT, gestión ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidaspor fuentes móviles terrestres de gasolina. Ecuador.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planteamiento del problema	3
Figura 2 Par motor	15
Figura 3 Curva del par motor	16
Figura 4 Curva de potencia.....	18
Figura 5 Curva de par y consumo de combustible.....	21
Figura 6 Bobina de encendido	28
Figura 7 Función bobina de encendido.....	29
Figura 8 Circuito Primario	31
Figura 9 Oscilograma del circuito primario.....	31
Figura 10 Circuito Secundario.....	33
Figura 11 Oscilograma del circuito secundario	34
Figura 12 Tiempo de quemado	36
Figura 13 Encendido multichispa	37
Figura 14 Diagrama de conexión Modulo MSD Street Fire.....	39
Figura 15 Bobina MSD Blaster 2.....	40
Figura 16 Diagrama de conexión Bobina Blaster 2.....	41
Figura 17 Dinamómetro de rodillos	42
Figura 18 Software BLAHA.....	44
Figura 19 Osciloscopio automotriz OWON PDS5022T.....	45
Figura 20 Analizador de gases Autoplus KANE.....	46
Figura 21 Identificación de elementos: Distribuidor, bobina, unidad control	51
Figura 22 Diagrama de conexión Modulo MSD Street Fire.....	52
Figura 23 Conexión arnés 8860.....	52
Figura 24 Cable plomo conexión al tacómetro.....	53
Figura 25 Cable rojo alimentación del módulo	53
Figura 26 Cable negro masa del módulo	54
Figura 27 Cable rojo delgado conexión a llave de ignición	54
Figura 28 Cable anaranjado y negro, terminal positivo y negativo bobina...	55
Figura 29 Vehículo centrado en los rodillos	56
Figura 30 Extractor de gases de escape	56

Figura 31 Conexión de interfaz del dinamómetro	57
Figura 32 Conexión bomba de agua.....	57
Figura 33 Ventilador dinamómetro.....	58
Figura 34 Aplicación de carga al dinamómetro	58
Figura 35 Inicio software Blaha.....	59
Figura 36 Selección banco de rodillos	59
Figura 37 Selección de nueva tirada.....	59
Figura 38 Selección método de medición dinamométrico.....	60
Figura 39 Selección de inicio y corte de RPM	60
Figura 40 Calibración RPM motor.....	61
Figura 41 Ajuste RPM para calibración motor-dinamómetro	61
Figura 42 Visualización de curvas	61
Figura 43 Curvas resultantes.....	62
Figura 44 Opciones de color de curvas	62
Figura 45 Ajuste de datos meteorológicos.....	63
Figura 46 Escala horizontal de curvas	63
Figura 47 Curvas de cada ensayo	63
Figura 48 Valores resultantes ensayos.....	64
Figura 49 Comparación de curvas	64
Figura 50 Conexión osciloscopio	65
Figura 51 Encendido del osciloscopio.....	65
Figura 52 Conexión punta de prueba osciloscopio	66
Figura 53 Conexión para prueba de oscilograma secundario.....	66
Figura 54 Conexión de pinza capacitiva	67
Figura 55 Conexión de la punta negativa del osciloscopio	67
Figura 56 Visualización del oscilograma secundario Software OWON.....	68
Figura 57 Desconexión bomba de alimentación	68
Figura 58 Conexión de mangueras al depósito de combustible	69
Figura 59 Peso del combustible antes de la prueba	69
Figura 60 Peso del combustible después de la prueba	70
Figura 61 Analizador de gases AUTOplus Kane.....	71
Figura 62 Conexión bluetooth analizador-computadora	71

Figura 63 Conexión sonda de muestro del analizador de gases	72
Figura 64 Temperatura normal de operación del motor.....	72
Figura 65 Calibración análisis de gases	73
Figura 66 Medición de gases de escape	73
Figura 67 Curvas de potencia a 5° estándar.....	75
Figura 68 Curvas de torque a 5° estándar	75
Figura 69 Curvas de potencia a 10° estándar.....	76
Figura 70 Curvas de torque a 10° estándar	77
Figura 71 Curvas de potencia a 15° estándar.....	78
Figura 72 Curvas de torque a 15° estándar	78
Figura 73 Curvas de potencia a 5° con el módulo	79
Figura 74 Curvas de torque a 5° con el módulo.....	79
Figura 75 Curvas de potencia a 10° con el módulo	80
Figura 76 Curvas de torque a 10° con el módulo.....	81
Figura 77 Curvas de potencia a 15° con el módulo	82
Figura 78 Curvas de torque a 15° con el módulo.....	82
Figura 79 Valores de análisis de gases	83
Figura 80 Análisis de Torque	84
Figura 81 Análisis de potencia kW.....	85
Figura 82 Análisis de potencia Hp	86
Figura 83 Análisis de gases de escape HC	87
Figura 84 Análisis de gases de escape CO	88
Figura 85 Análisis de gases de escape O2.....	89
Figura 86 Análisis de gases de escape CO2	90
Figura 87 Análisis de consumo de combustible	91
Figura 88 Comparación de potencia kW	99
Figura 89 Comparación de potencia hp	100
Figura 90 Comparación de torque en N-m.....	101
Figura 91 Comparación de torque en lb-ft	101
Figura 92 Comparación de consumo específico de combustible	102
Figura 93 Comparación porcentual de potencia	104
Figura 94 Comparación porcentual de torque.....	105

Figura 95 Comparación porcentual de consumo	106
Figura 96 Comparación porcentual de emisiones de gases	107
Figura 97 Oscilograma primario estándar	108
Figura 98 Oscilograma primario con módulo	108
Figura 99 Oscilograma secundario estándar	109
Figura 100 Oscilograma secundario con módulo	109
Figura 101 Oscilograma primario y secundario	110
Figura 102 Cronograma de actividades	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización variable independiente: módulo multichispa	8
Tabla 2 Operacionalización variable dependiente: parámetros MCI.....	9
Tabla 3 Metodología, instrumentación y laboratorios.....	11
Tabla 4 Características módulo MSD Street Fire.....	38
Tabla 5 Funciones de los cables de conexión	39
Tabla 6 Características bobina MSD Blaster 2	40
Tabla 7 Características dinamómetro de rodillos MOTORROLL	43
Tabla 8 Características osciloscopio OWON PDS5022T.....	45
Tabla 9 Características del analizador de gases AUTOplus KANE	47
Tabla 10 Características del vehículo FIAT MILLE 1.3.....	49
Tabla 11 Valores en el dinamómetro a 5°	74
Tabla 12 Valores en el dinamómetro a 10°	76
Tabla 13 Valores en el dinamómetro a 15°	77
Tabla 14 Valores en el dinamómetro con el módulo a 5°	78
Tabla 15 Valores en el dinamómetro con el módulo a 10°.....	80
Tabla 16 Valores en el dinamómetro con el módulo a 15°.....	81
Tabla 17 Tabulación de las pruebas de análisis de gases de escape	83
Tabla 18 Tabulación de consumo de combustible	84
Tabla 19 Análisis de torque	84
Tabla 20 Análisis de potencia en kW	85
Tabla 21 Análisis de potencia en hp	86
Tabla 22 Análisis de gases de escape HC	87
Tabla 23 Análisis de gases de escape CO	88
Tabla 24 Análisis de gases de escape O2.....	89
Tabla 25 Análisis de gases de escape CO2	90
Tabla 26 Datos del motor 146 A.ED	92
Tabla 27 Valores de interpolación.....	93
Tabla 28 Resumen de cálculos de torque y potencia	96
Tabla 29 Resumen de cálculos de consumo	97
Tabla 30 Resumen de cálculos de rendimiento	98
Tabla 31 Comparación de potencia	98

Tabla 32 Comparación de torque.....	100
Tabla 33 Comparación de consumo específico de combustible	102
Tabla 34 Comparación de rendimiento	102
Tabla 35 Comparación porcentual de la potencia.....	103
Tabla 36 Comparación porcentual del torque	104
Tabla 37 Comparación porcentual del consumo.....	105
Tabla 38 Comparación porcentual de emisiones	106
Tabla 39 Recursos humanos	111
Tabla 40 Recursos físicos.....	112
Tabla 41 Recursos materiales	112
Tabla 42 Recursos tecnológicos	113
Tabla 43 Costo recursos tecnológicos	113
Tabla 44 Presupuesto del proyecto	114

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo de torque	15
Ecuación 2 Cálculo de potencia.....	17
Ecuación 3 Cálculo de la Potencia.....	17
Ecuación 4 Cálculo de Potencia Efectiva.....	18
Ecuación 5 Cálculo consumo de combustible.....	19
Ecuación 6 Cálculo consumo de combustible método gravimétrico	20
Ecuación 7 Cálculo de la presión media efectiva.....	22
Ecuación 8 Cálculo rendimiento.....	22
Ecuación 9 Cálculo rendimiento térmico ideal	23
Ecuación 10 Cálculo rendimiento mecánico	24
Ecuación 11 Cálculo rendimiento indicado	24
Ecuación 12 Relación de transformación devanado	35
Ecuación 13 Relación de transformación voltaje	35
Ecuación 14 Cálculo número de chispas	35
Ecuación 15 Velocidad máxima del pistón.....	93
Ecuación 16 Velocidad del aire en la sección del paso de la válvula.....	93
Ecuación 17 Presión al final de la admisión.....	94
Ecuación 18 Presión al final de la compresión	94
Ecuación 19 Temperatura de admisión	94
Ecuación 20 Temperatura de compresión	94
Ecuación 21 Presión al final del trabajo.....	95
Ecuación 22 Fuerza máxima	95
Ecuación 23 Torque	95
Ecuación 24 Potencia	95
Ecuación 25 Consumo de combustible teórico	97
Ecuación 26 Consumo específico de combustible.....	97
Ecuación 27 Cálculo rendimiento térmico ideal	97
Ecuación 28 Cálculo rendimiento mecánico	98
Ecuación 29 Cálculo rendimiento indicado	98

RESUMEN

La disposición de la industria automotriz por encontrar nuevos métodos para poder modificar el torque, potencia, consumo de combustible y las emisiones contaminantes ha originado la investigación y desarrollo de nuevos sistemas, aparatos adaptables a cualquier tipo de vehículo a gasolina, como es el caso del módulo de encendido multichipa MSD Street Fire, el objetivo principal de este módulo es proporcionar múltiples chispas que originan más calor en la cámara de combustión lo que significa una combustión de la mezcla más completa, más potencia, mayor respuesta del acelerador, una marcha lenta suave, arranques rápidos, economía mejorada y menos emisiones contaminantes. Este dispositivo fue instalado en el motor del vehículo FIAT MILLE con la intención de investigar la influencia en los parámetros característicos del motor de combustión interna 146A.ED. El presente proyecto se realizó para obtener, analizar y comparar los distintos parámetros del motor como son: torque, potencia, consumo de combustible y emisiones contaminantes, alcanzados en la realización de diferentes pruebas estándar y con el módulo de encendido multichipa instalado. A través del análisis de los resultados obtenidos, se estableció que el mayor torque y potencia es cuando el motor se encuentra con un avance al encendido de 10° e instalado el módulo, igualmente el menor consumo de combustible y emisiones contaminantes.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**
- **MÓDULO DE ENCENDIDO MULTICHISPA**
- **EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES**

ABSTRACT

The willingness of the auto industry to find new ways to modify the torque, power, fuel consumption and the contaminant emissions has given origin to research and development of new systems and devices that can adapt to any kind of gas vehicle, as is the case of the power-up module multispark MSD Street Fire. The main object of this module is to fire multiple sparks that will bring more heat to the combustion cap, which means we will have a more complete mix of combustion, more power and a better reaction from the accelerator, smooth and soft idle, fast start and less pollution. This device was installed on the Fiat Mille engine with the intent of researching its affect on the metric characteristics of the combustion engine 146A.ED. This project was executed with the goal of analyzing and comparing the distinctive engine parameters of; torque, power, fuel consumption and contaminant emissions found in the execution of different standardized tests and with the multi spark ignition module installed. Through the analysis, the obtained results established that the major torque and power was registered when the engine advance the to the ignition of 10 and with the installed module, also it was established that there was less fuel consumption and less contaminant emissions.

KEY WORDS:

- **INTERNAL COMBUSTION ENGINE**
- **MULTI SPARK START MODULE**
- **EMISSION OF CONTAMINANT GASES.**

PRESENTACIÓN

La investigación “DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 146 A.ED FIAT, CON EL USO DEL MÓDULO DE ENCENDIDO MULTICHISPA STREET FIRE-MSD” se basa en analizar las prestaciones, conexión y funcionamiento del módulo de encendido multichispa.

La industria automotriz tiene la necesidad de investigar técnicas que permitan mejorar la potencia, torque y el consumo de combustible, así como también la reducción de las emisiones contaminantes, mejorando la calidad del aire.

El desarrollo y la implementación de nuevos sistemas adaptables a diferentes tipos de motores a carburador e inyección, como es el módulo de encendido multichispa cuya función principal es proporcionar múltiples chispas, mejorando la combustión de la mezcla, reduciendo el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, logrando un funcionamiento óptimo del vehículo.

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

El desarrollo de tecnologías en automóviles, en los últimos años, ha sido fundamental para satisfacer las necesidades de los consumidores del sector automotriz. Uno de los principales retos a cumplir por parte de los fabricantes de vehículos consiste en mejorar las características mecánicas de los motores a combustión interna como son: torque o par motor, potencia, y consumo específico de combustible.

Para poder mejorar los parámetros característicos de los motores, se han desarrollado sistemas y dispositivos electrónicos los cuales al ser implementados en los diferentes motores de combustión interna han logrado optimizar las condiciones de desempeño de los vehículos reduciendo el consumo de combustible.

En los desarrollos de la empresa (SPEEDWAY MOTORS, 2016) menciona que: “La mayoría de los sistemas de encendido original son encendidos inductivos. El inconveniente aquí es la eficiencia de la tensión de salida, especialmente en situaciones de carga y las condiciones de altas revoluciones. La bobina tiene que almacenar voltaje de la batería y transformarlo a un alto voltaje entre cada explosión para el salto de chispa. Esto funciona muy bien en los vehículos de fábrica o para uso general por carretera, pero seamos sinceros, cuando se trata de necesidad de rendimiento, se queda corto. A mayores rpm, hay menos tiempo para cargar la bobina a plena capacidad, y justo cuando más lo necesita, la tensión no llega a su potencia máxima, lo que resulta en una pérdida de energía o fallos de encendido en el extremo superior”.

Investigaciones de la empresa (MSD Performance, 2016) citan que: “La descarga capacitiva de encendido MSD STREET FIRE es perfecto para los entusiastas del rendimiento. El encendido de descarga capacitiva ofrece la tecnología y se disparará una serie de múltiples chispas que duran 20° de rotación del cigüeñal cuando el motor está funcionando a bajas rpm y la potencia total de salida a altas revoluciones. Esto asegura la combustión de la mezcla aire/combustible, produce una gran respuesta del acelerador y que el motor funcione suavemente”.

Uno de los factores que afecta a la contaminación ambiental, la destrucción de la capa de ozono y de la naturaleza son las emisiones contaminantes que los vehículos producen. Para reducir dichas emisiones los fabricantes de vehículos tratan de implementar sistemas y dispositivos electrónicos. En el ámbito legal del Ecuador se dispone de normas que regulan las emisiones permitidas por los vehículos, como:

La norma NTE INEN 2204:2002, se refiere a la calidad del aire de los vehículos automotores, así como también a los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

La norma NTE INEN 2203:2000, trata sobre la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí” (prueba estática) en los automotores.

1.2. Planteamiento del problema

La aplicación de nuevas técnicas en el encendido electrónico multichispa para mejorar la potencia en el motor de combustión interna así como los avances tecnológicos en el campo automotriz y su complejidad en aplicaciones electrónicas permite un desempeño óptimo del motor a combustión interna bajo diferentes condiciones de operación, generando transferencia de tecnología y conocimientos.

El incumplimiento de la norma vigente acerca de límites de emisiones permitidos en vehículos a gasolina contribuye al incremento constante del deterioro del medioambiente.

La investigación se origina por el rendimiento del motor a combustión interna relacionado con el tipo de encendido, el encendido convencional presenta una sola descarga o chispa en cada ciclo de combustión, a diferencia del encendido MSD (Multiple Spark Discharge) que puede presentar varias descargas por ciclo dependiendo del régimen de operación.

El escaso conocimiento sobre el encendido electrónico multichispa y la importancia del encendido en los motores inciden en el rendimiento (torque, potencia y consumo específico) de los motores a combustión interna.

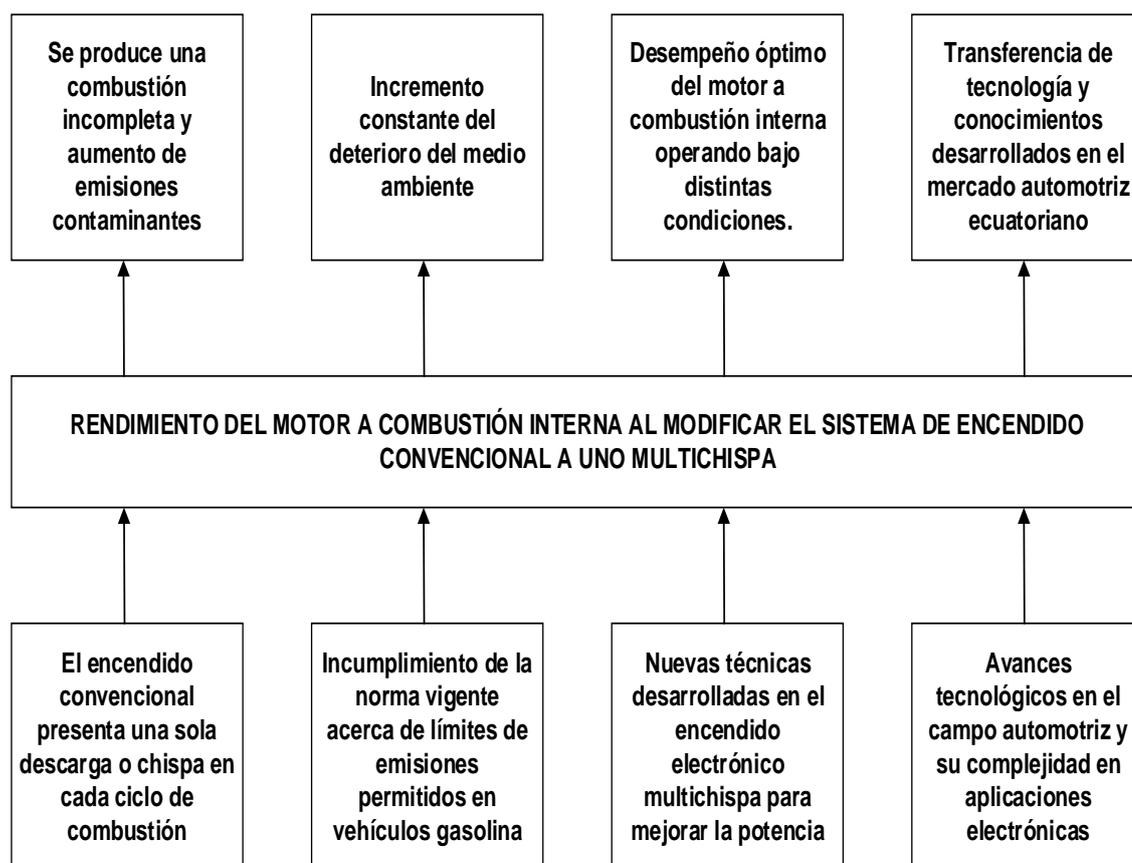


Figura 1 Planteamiento del problema

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación " Determinación de los parámetros característicos del motor de combustión interna 146 A.ED Fiat, con el uso del módulo de encendido multichispa Street Fire-MSD", consideró los siguientes aspectos:

Se recopiló información tomando en cuenta su procedencia considerando únicamente fuentes confiables como son libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y publicaciones gubernamentales.

Se realizó diferentes pruebas para determinar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat con el módulo MSD Street Fire operando con el sistema de encendido original y con el sistema de encendido multichispa, mediante la utilización del dinamómetro de rodillos MOTORROLL y el analizador de gases CARTEK 50-100. Todas las pruebas y mediciones se llevaron a cabo en condición de marcha mínima o "Ralenti", de acuerdo a la norma NTE INEN 2203:2000.

Se tabuló los datos obtenidos para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos del motor 146 A.ED.

La investigación generó resultados de una forma técnica y científica con el uso de la matematización, que consistió en calcular el torque, potencia y consumo específico, por medio de fórmulas.

1.4. Justificación e importancia

Dado que el campo automotor en el Ecuador está conformado por más de 1,7 millones de vehículos de los cuales 1,526,102 funcionan con gasolina según cifras del Instituto Nacional Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (2013), y muchos de los cuales todavía poseen un sistema de encendido convencional.

Por ello es necesario e imprescindible mantenerse al tanto de la información técnica especializada que permita dar el uso e implementación adecuado de los módulos de encendido multichispa.

El avance tecnológico en el campo automotriz exige estar a la par con las nuevas tecnologías que brindan diversos dispositivos para mejorar las prestaciones del motor, creando fuentes de investigación que utilizan equipos electrónicos como el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire.

El aporte de esta investigación permitió obtener parámetros válidos acerca de las curvas características del motor 146 A.ED Fiat y desempeño sobre el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire, al instarlo en un sistema de encendido electrónico convencional, teniendo en cuenta la importancia del mismo en el proceso de combustión, con el fin de alcanzar un desempeño óptimo del motor a combustión interna logrando una disminución de emisiones establecidas por las normas ecuatorianas INEN.

1.4.1. Interés de la investigación

Esta investigación va dirigida a dos grupos de usuarios con diferentes necesidades, por un lado el ámbito técnico tecnológico que se concentra en disminuir el consumo de gasolina y las emisiones contaminantes, por otro lado están los aficionados a las competencias que deseen incrementar la potencia del vehículo. Todo esto se logra modificando el sistema de encendido por medio del módulo de encendido multichispa MSD Street Fire.

1.4.2. Utilidad teórica

Al utilizar el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire se logra mejorar los parámetros característicos, es decir el torque y la potencia del

vehículo, reducir el consumo de combustible así como los niveles de contaminación producidos por las emisiones que generan los vehículos.

1.4.3. Utilidad práctica

Al implementar el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire se optimizó el torque, la potencia y el consumo de combustible, mejorando el ahorro del mismo y sobre todo reduciendo las emisiones contaminantes.

1.4.4. Utilidad metodológica

El módulo de encendido multichispa MSD Street Fire también se puede implementar a todos los vehículos que posean distribuidor, además para la repotenciación de motores ofreciendo un amplio campo de investigación para futuros trabajos.

1.4.5. Factibilidad

En el Ecuador no existen empresas que fabriquen módulos de encendido multichispa, es por ello que el dispositivo debe ser importado, pero sus empresas automotrices cuentan con la tecnología necesaria para realizar una correcta selección e implementación del encendido multichispa.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Determinar la incidencia en los parámetros característicos del motor de combustión interna 146 A.ED Fiat, con el uso del módulo de encendido multichispa Street Fire-MSD.

-

1.5.2. Objetivos específicos

- Consultar información bibliográfica, manuales y datos técnicos que permitan un manejo adecuado de los equipos, del motor 146 A.ED Fiat, del dispositivo MSD Street Fire y del desarrollo del trabajo práctico.
- Realizar la prueba en el dinamómetro de rodillos para determinar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat.
- Instalar el módulo de encendido multichispa en el vehículo según los pasos correspondientes al manual.
- Realizar las diferentes pruebas en el dinamómetro de rodillos para determinar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat cuando se utiliza el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire.
- Tabular los datos obtenidos, para generar un registro de las variaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED.
- Justificar los resultados las concentraciones de CO_2 , O_2 , HC y NO_x de una forma técnica y científica con el uso de la matematización.

1.6. Metas

Desarrollar la investigación del desempeño del módulo de encendido multichispa MSD Street Fire para obtener mejoras de las prestaciones mecánicas del motor de combustión interna 146 A.ED Fiat en un 5% al 12%.

1.7. Hipótesis

La investigación relacionada a la implementación del módulo de encendido multichispa MSD Street Fire permite mejorar los parámetros característicos ideales del motor 146 A.ED Fiat.

1.8. Variables de la investigación

1.8.1. Variable independiente

- Módulo de encendido multichispa

1.8.2. Variable dependiente

- Parámetros característicos del motor

1.9. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente: módulo de encendido multichispa

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Produce múltiples descargas de alto voltaje a través del entrehierro de las bujías del motor en un solo ciclo de trabajo	Académica	Grados de encendido	Grados	Cableado	Protocolo de prueba
	Académica	Altura	Msnm	Medición	Protocolo de prueba
	Académica	Revoluciones por minuto	RPM	Medición	Protocolo de prueba
	Académica	Voltaje primario	V	Cálculo	Protocolo de prueba
	Académica	Voltaje secundario	kV	Cálculo	Protocolo de prueba

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente: Parámetros característicos del motor.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	instrumentos
Son los indicadores del desempeño y rendimiento de un motor a combustión interna.	Curvas características	Torque	N-m	Cálculo Medición	Protocolo de prueba
		Potencia	kW	Cálculo Medición	Protocolo de prueba
		Consumo específico	gr/ kW .h	Cálculo Medición	Protocolo de prueba
	Contaminación	Rendimientos		Cálculo	Cálculo
		Niveles de Emisiones	ppm HC O2 CO2	Medición	Protocolo de prueba

1.10. Metodología de desarrollo del proyecto

- **Método Inductivo**

Se empleó este método, ya que el motor 146 A.ED Fiat, posee un sistema de encendido electrónico convencional y se pudo implementar el módulo, los resultados y conclusiones generadas se aplicaron para todos los vehículos de motor a gasolina que cuenten con este tipo de encendido.

- **Método deductivo**

En la investigación se analizó los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) y los niveles de emisiones generados por el vehículo, con el uso del módulo de encendido multichispa, representado por los estudios realizados en el motor 146 A.ED Fiat.

- **Método analítico**

En la investigación se aplicó este método ya que analizo de forma individual cada uno de los parámetros característicos (torque, potencia y

consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat bajo la influencia del módulo de encendido multichispa MSD Street Fire en la parte experimental.

- **Método de síntesis**

Este método se aplicó en la recopilación de los datos resultantes de las pruebas, bajo la incidencia del módulo de encendido multichispa MSD Street Fire.

- **Método experimental**

Se utilizó este método ya que se realizaron mediciones y pruebas con el dinamómetro de rodillos MOTORROLL, analizador de gases AutoPLUS KANE y osciloscopio OTC que proporcionaron los parámetros característicos ideales del motor 146 A.ED Fiat y los oscilogramas de encendido con el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire.

- **Método comparativo**

Este método permitió establecer comparaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor y con el módulo de encendido multichispa instalado.

- **Método de observación directa**

Este método permitió realizar una verificación visual de las diferentes pruebas realizadas, obteniendo resultados variables que esta investigación busca establecer, como es el encendido multichispa y cómo influye en el comportamiento del motor.

- **Método de medición**

A través del método de medición se estableció el protocolo de pruebas en función de la norma NTE INEN 2203:2000 de emisiones de gases de escape, y se determinó las unidades en las que se manejaron los datos, las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro son según las normas ISO 1585.

- **Método de matematización**

Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar mediante cálculos matemáticos los valores de potencia, torque y consumo específico de combustible y las concentraciones de CO₂, O₂, HC y CO.

En la tabla 3 se visualiza el resumen de la metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo la investigación.

Tabla 3
Metodología, instrumentación y laboratorios

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se empleó este método, ya que el motor 146 A.ED Fiat, posee un sistema de encendido electrónico convencional y se pudo implementar el módulo, los resultados y conclusiones generadas se aplicaron para todos los vehículos de motor a gasolina que cuenten con este tipo de encendido.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor 146 A.ED Fiat • Módulo MSD Street Fire • Multímetro Automotriz • Osciloscopio OTC 	Laboratorio de motores Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Deductivo	En la investigación se analizó los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) y los niveles de emisiones generados por el vehículo, con el uso del módulo de encendido multichispa, representado por	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro Motorroll • Analizador de Gases AutoPLUS KANE • Módulo MSD Street Fire 	Laboratorio de motores Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

CONTINÚA



	los estudios realizados en el motor 146 A.ED Fiat.	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio OTC. 	
Analítico	En la investigación se aplicó este método ya que analizo de forma individual cada uno de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat bajo la influencia del módulo de encendido multichispa MSD Street Fire en la parte experimental.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro Motorroll • Analizador de Gases AutoPLUS KANE • Laptop ACER E 14 	Laboratorio de motores Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Experimental	Se utilizó este método ya que se realizaron mediciones y pruebas con el dinamómetro de rodillos MOTORROLL, analizador de gases AutoPLUS KANE y osciloscopio OTC que proporcionaron los parámetros característicos ideales del motor 146 A.ED Fiat y los oscilogramas de encendido con el módulo de encendido multichispa MSD Street Fire.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro Motorroll • Analizador de Gases AutoPLUS KANE • Módulo MSD Street Fire • Osciloscopio OTC • Fiat Mille 	Laboratorio de motores Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Comparativo	Este método permitió establecer comparaciones de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor 146 A.ED Fiat basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor y con el módulo de encendido multichispa instalado.	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop ACER E 14 • Office 	
Observación Directa	Este método permitió realizar una verificación visual de las diferentes pruebas realizadas, obteniendo resultados variables que esta investigación busca establecer, como es el encendido multichispa y cómo influye en el comportamiento del motor.	<ul style="list-style-type: none"> • Fiat Mille • Analizador de Gases AutoPLUS KANE • Dinamómetro Motorroll 	Laboratorio de motores Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Medición	A través del método de medición se estableció el protocolo de pruebas en función de la norma NTE INEN 2203:2000 de emisiones de gases de escape, y se determinó las unidades en las que se manejaron los datos, las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro son según las	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamómetro Motorroll • Analizador de Gases AutoPLUS KANE • Módulo MSD Street Fire • Osciloscopio 3840F • Fiat Mille 	Laboratorio de motores Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga



	normas ISO 1585.	<ul style="list-style-type: none">• Laptop ACER E 14
Matematización	Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar mediante cálculos matemáticos los valores de potencia, torque y consumo específico de combustible y las concentraciones de CO ₂ , O ₂ , HC y CO.	<ul style="list-style-type: none">• Laptop ACER E 14• Office

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Parámetros característicos del MCI.

El par o torque, la potencia y el consumo específico son las curvas cuyos valores dan lugar para interpretar el rendimiento del motor de combustión interna.

2.1.1. Torque o par motor.

(Alonso J, 2010) Afirma que: Par motor es el producto de una fuerza por la distancia desde el punto de aplicación al eje de giro. En consecuencia, este par resulta mayor cuanto más lo sea la fuerza actuante y la distancia al punto de aplicación". (p.58)

El par motor depende de dos factores:

- Fuerza de la explosión sobre el pistón.
- Longitud del codo del cigüeñal, sobre quien actúa la fuerza.

El par motor como indica la figura 2 es función de la fuerza del ciclo de expansión del gas, lo que significa que el par motor alcanza sus máximos valores cuando las explosiones son más fuertes.

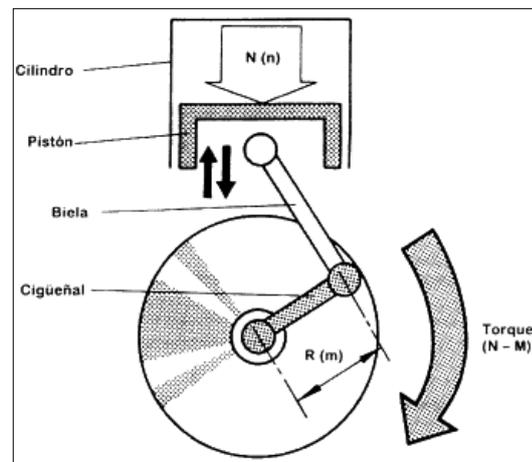


Figura 2 Par motor

Fuente: (Mays, 2016)

Los autores (Bauer & Ortmann, 2003) mencionan que: “Para el cálculo del par, la magnitud física “par motor” (T) es el producto resultante de multiplicar la fuerza (F) de empuje a los cilindros por el eje geométrico de giro al árbol del cigüeñal (d)”. (p.11)

Según el Sistema Internacional de Unidades, la unidad que corresponde al torque es: Newton metro (N-m).

$$T = F * d \text{ (N - m)} \quad (1)$$

Ecuación 1 Cálculo de torque

Fuente: (Bauer & Ortmann, 2003)

a. Curva de par motor

La curva comienza siendo ascendente hasta llegar al par máximo. Desde ese momento en adelante, el par comienza a descender progresivamente.

Según los autores (López & Benito, 2014) indican que: “A bajas revoluciones el llenado en el cilindro no es el más adecuado por la insuficiente

velocidad de los gases. Por tanto la combustión no es óptima, pero cuando el régimen es elevado, el tiempo que se dispone para el llenado del cilindro es escaso y la curva decrece también”.

(Sanz S, 2011) Menciona que: “En los motores de combustión interna, la curva comienza siendo ascendente hasta llegar al par máximo, pero se mantiene dentro de la zona útil durante un tramo muy corto de revoluciones.” (p.87) En ese momento, el par comienza a disminuir gradualmente como se observa en la figura 3.

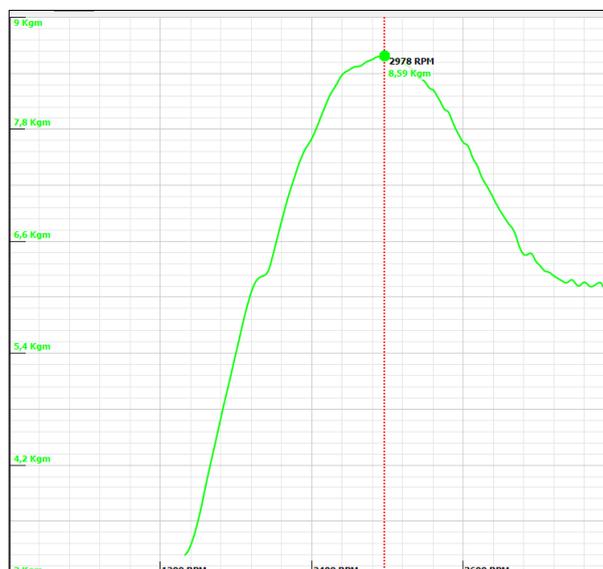


Figura 3 Curva del par motor

2.1.2. Potencia

(De Castro M, 1997) Indica que: “Potencia es la cantidad de trabajo que se puede realizar por unidad de tiempo. Cuanto más potente es el motor, más peso puede arrastrar a la misma velocidad o, llevando el mismo peso, mayor es la velocidad que alcanza”. (p. 22)

La potencia (P) se desarrolla a partir del par motor y se expresa por la siguiente ecuación:

$$P = T * \omega \quad (2)$$

Ecuación 2 Cálculo de potencia

Fuente: (Rodríguez, 2012)

Siendo (ω) la velocidad angular de giro en (rad/s) y (T) el par motor en (N-m) considerando que es del eje de transmisión o eje del cigüeñal. La potencia del motor se mide, de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades en vatios (W).

Los autores (Bauer & Ortmann, 2003) mencionan que: “Otra manera de encontrar la potencia es convertir la frecuencia de giro que normalmente son las *r.p.m.* en frecuencia angular, para obtener el tiempo que tarda en desenvolver el trabajo debido al par formado. La potencia (P) suministrada por el motor aumenta a medida que se incrementa el par motor (T) y el número de revoluciones (n).” (p.11)

Tiene validez la relación:

$$P = 2 * \pi * n * M \quad (3)$$

Ecuación 3 Cálculo de la Potencia

Fuente: (Bauer & Ortmann, 2003)

b. Curva de potencia

La curva de potencia crece progresivamente casi constante hasta un valor determinado que indica su valor máximo como indica la figura 4, después decrece rápidamente hasta el límite máximo de utilización del motor. El descenso de potencia, se debe a la disminución del rendimiento volumétrico del motor.

La elevación de esta curva depende en gran medida de la forma constructiva del motor, compresión y al uso que se le vaya a dar; siendo elevada en motores rápidos y menos elevada en motores de menor cilindrada.

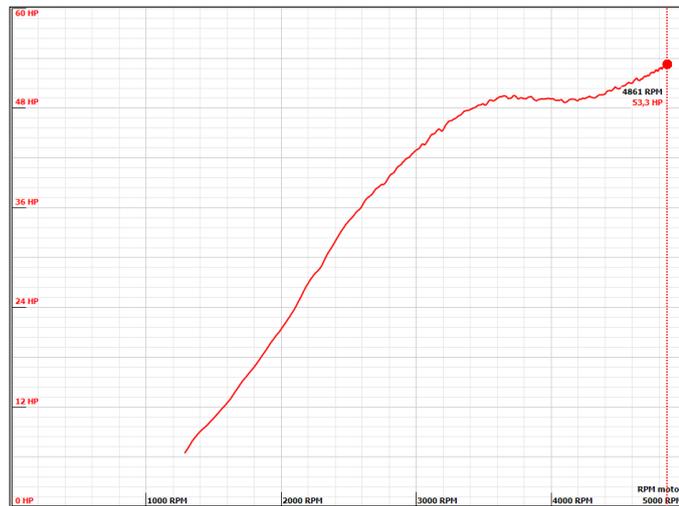


Figura 4 Curva de potencia

2.1.3. Potencia Efectiva

(González D, 2015) Menciona 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).

$$N_e = \frac{2 * P_{me} * V_h * n * i}{10^3 \tau} \quad (4)$$

Ecuación 4 Cálculo de Potencia Efectiva

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

P_{me} es la presión media efectiva (Pa)

n es la frecuencia de rotación del eje del cigüeñal ($r.p.m$)

τ es el número de tiempos del motor

V_h es el volumen del trabajo del cilindro (m^3)

2.1.4. Consumo específico de combustible

El consumo específico de combustible se determina experimentalmente, e indican el consumo instantáneo de combustible para el régimen completo de funcionamiento del motor para todas sus condiciones de carga.

Los autores (Calvo & Miravete, 1997) citan que: “El consumo específico C_e , suele medirse en gramos de combustible por unidad de tiempo hora (hora) y por unidad de potencia desarrollada (kW) es decir: $gr/(kW - h)$.” (p. 81)

$$c_e = \frac{\dot{m}_f}{N_e} \quad (5)$$

Ecuación 5 Cálculo consumo de combustible

Fuente: (Mena, 2011)

Donde:

c_e es el peso específico, en $\frac{gr}{kW-h}$

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

N_e es la potencia efectiva en kW

Para realizar el cálculo del consumo específico de combustible de la misma forma que la potencia y el par motor, se realizan en un banco dinamométrico de pruebas, y para calcular el consumo horario de combustible se lo puede hacer de dos formas posibles: con el método volumétrico y el método gravimétrico.

a. Método volumétrico

(González, 2012) Menciona que: “El método volumétrico consiste en “medir el tiempo necesario para consumir un volumen conocido de

combustible. Para ello es necesaria una probeta graduada en paralelo con el depósito de combustible y un reloj.” (p.50)

Es el método más simple para para medir el volumen de combustible, el problema que conlleva el uso de este sistema es que para conocer el consumo de combustible se debe multiplicar el volumen por la densidad del mismo.

b. Método gravimétrico

(González, 2012) Indica que: “Este método consiste en “medir el tiempo empleado en consumir una masa conocida de combustible existente en una balanza de precisión.” (p.50)

Es utilizado para ensayos de certificación o cuando el banco de pruebas está destinado a la investigación. Si se utiliza el método volumétrico, para realizar el cálculo del consumo de combustible se utiliza la siguiente formula:

$$\dot{m}_f = \frac{V}{t} * \rho_e \quad (6)$$

Ecuación 6 Cálculo consumo de combustible método gravimétrico

Fuente: (González, 2012)

Donde;

\dot{m}_f es la masa de combustible por unidad de tiempo *gr/h*.

V es el volumen de la probeta, en *litros*.

t es el tiempo que tarda en vaciarse la probeta, en *horas*.

ρ_e es la densidad del combustible a utilizar en *gr/cm³*.

c. Curva de consumo específico de combustible

La curva de consumo de combustible tiene un comportamiento inverso al de la curva de par, es decir, en las condiciones de máximo par se tiene un consumo específico mínimo. El consumo de combustible es mayor cuando el motor está en marcha mínima (ralentí) y a velocidades mayores (altas r.p.m.); pero a velocidad media el consumo de combustible es el ideal como se refleja en la figura 5.

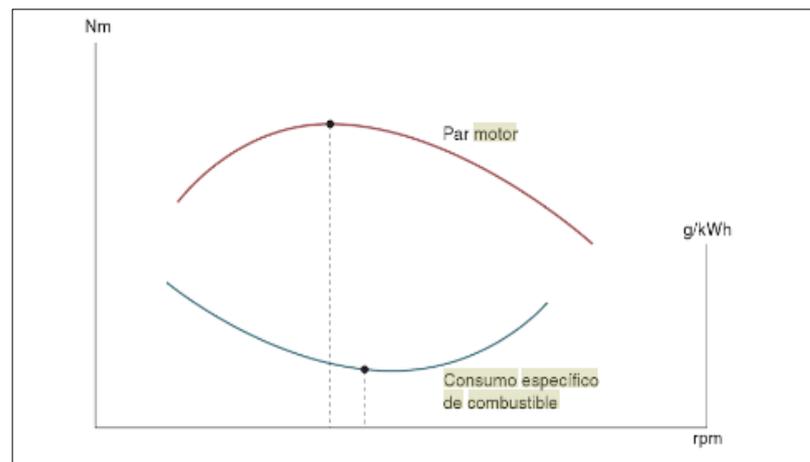


Figura 5 Curva de par y consumo de combustible

Fuente: (Sanz S, 2011)

2.2. Parámetros termodinámicos

Los parámetros termodinámicos del motor de combustión interna hacen referencia a los valores de parámetros referentes al ciclo termodinámico que realiza el motor.

2.2.1. Presión media efectiva

(Sanz S, 2011) menciona que: “La presión media efectiva resulta de hallar la media de la presión existente dentro del cilindro durante el tiempo de combustión y expansión.” (p. 80)

Cuando se haya obtenido la potencia efectiva se puede calcular la presión media efectiva por cada ciclo que se realiza en cada uno de los cilindros del motor.

La presión media efectiva del motor se puede calcular con la siguiente formula:

$$pme = \frac{N_e}{V_T * n * i} \quad (7)$$

Ecuación 7 Cálculo de la presión media efectiva

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Donde;

N_e es la potencia efectiva en kW.

V_T es la cilindrada total del motor en cm^3

n régimen de giro del motor en rpm

i es el número de ciclos por cada revolución, siendo $i = 1/2$ para motores de cuatro tiempos e $i = 1$ para motores de dos tiempos.

2.3. Rendimiento del motor de combustión interna

En general el rendimiento de un motor de combustión interna es la relación que hay entre la cantidad de energía que produce y la que consume.

$$Rendimiento = \frac{Energia\ consumida}{Energia\ producida} * 100\% \quad (8)$$

Ecuación 8 Cálculo rendimiento

Fuente: (Riú, 1981)

“Si el trabajo realizado por el motor (generación de movimiento) fuese igual a la energía química del combustible utilizado para producirlo, la eficiencia de ese supuesto motor sería de un 100%.” (G. Artés, 2016)

2.3.1. Rendimiento térmico

El rendimiento térmico muestra la eficacia con que un motor térmico transforma el calor en trabajo mecánico, es ideal cuando mayor sea la temperatura alcanzada en la combustión y las pérdidas de calor sean menores.

(Sanz S, 2011) menciona que: “La cantidad de calor obtenida está en función de la masa de combustible consumida por unidad de tiempo \dot{m}_f (*gr/h*) y del poder calorífico de este H_c (*kJ/kg*) o (*kJ/m³*).” (p. 77)

$$\eta_t = \frac{N_e}{\dot{m}_f * H_c} \quad (9)$$

Ecuación 9 Cálculo rendimiento térmico ideal

Fuente: (Sanz S, 2011)

El rendimiento térmico η_c se puede definir como la relación entre la potencia efectiva N_e y la potencia térmica del combustible.

En los motores de ciclo Otto la pérdida de calor por los gases de escape alcanzan un valor del 35% y los motores con ciclo Diésel estas pérdidas son del 30%.

2.3.2. Rendimiento mecánico

El autor (Sanz S, 2011) cita que el rendimiento mecánico: “Es la relación que existe entre la potencia efectiva N_e , que es medido en el eje del cigüeñal, y la potencia indicada N_i , que se obtiene en el diagrama indicado, el cual expresa el trabajo interno obtenido dentro del cilindro”. (p.78)

La forma de expresión del rendimiento mecánico es la siguiente:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \quad (10)$$

Ecuación 10 Cálculo rendimiento mecánico

Fuente: (Sanz S, 2011)

Existen pérdidas de carácter mecánico que se consideran para determinar el rendimiento mecánico:

- La energía empleada en transmitir el movimiento del pistón hasta el eje de salida, principalmente rozamiento entre los órganos móviles.
- La energía que consumen los dispositivos auxiliares, como el sistema de distribución, lubricación y refrigeración.

El acumulado total de pérdidas mecánicas esta entre 10 y un 15%.

2.3.3. Rendimiento indicado

Según (González D, 2015) menciona que: “Se utiliza el rendimiento indicado para conocer el grado de aprovechamiento del combustible, es la relación de la potencia indicada, debida a la energía del combustible.” (p.37)

$$n_i = \frac{N_i}{\dot{m}_f * H_c} \quad (11)$$

Ecuación 11 Cálculo rendimiento indicado

Fuente: (González D, 2015)

2.4. Emisiones contaminantes

Las fuentes de contaminación asociadas a los motores de combustión interna pueden ser de distinta naturaleza, como los residuos que se producen tanto en el mantenimiento como en el ciclo de vida global del motor, cuando

se vierten especies contaminantes al aire a través de los gases de escape, lo que se conoce por emisiones contaminantes.

Los autores (Rovira & Muñoz, 2015) mencionan que: “Las emisiones es todo aquello que se evacua por fuentes o conjuntos de fuentes localizables, por ejemplo, tubos de escape.” (p. 120). Estas emisiones contaminantes se miden con referencia a los kilómetros recorridos

En el Ecuador la norma que establece los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina es la NTE INEN 2204:2002. La cual muestra los límites máximos de emisiones permitidos (calidad de aire) según el año de fabricación y el tipo de prueba (estática o dinámica).

2.4.1. Oxígeno

El oxígeno (O₂) es el restante no utilizado durante la combustión. En el caso de utilizar aire en exceso (mezcla pobre) aparece desalojado con las emisiones contaminantes. Cuando aparece como componente de los gases de escape se puede utilizar para medir el rendimiento de la combustión.

2.4.2. Hidrocarburos no quemados

Los hidrocarburos (HC) son restos no quemados del combustible, que aparecen en las emisiones contaminantes, se deben a una combustión incompleta de la mezcla aire-combustible por falta de oxígeno, es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla.

2.4.3. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono (CO) se origina en caso de una combustión incompleta, la ausencia de oxígeno en la combustión hace que ésta no se

realice de manera completa formándose monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono. Es producido por una mezcla rica.

2.4.4. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) se origina al ser quemados los combustibles que contienen carbono. El carbono se combina con el oxígeno que es aspirado por el motor, mientras mayor es su concentración, la combustión será mejor; no es nocivo para los seres vivos, pero reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos ultravioleta. Las causas principales de una baja presencia de CO₂ son por una combustión ineficiente y encendido defectuoso.

Las emisiones de dióxido de carbono CO₂ se hallan en una relación directa con el consumo de combustible del vehículo.

2.5. Momento de encendido

Con la selección de un momento de encendido adecuado se puede controlar el inicio de la combustión en el motor Otto. El momento de encendido describe al punto muerto superior del ciclo de trabajo del motor Otto.

2.5.1. Variación del momento de encendido

Los puntos de encendido adelantados están antes del punto muerto superior y los puntos de encendido retardados después.

Al momento de variar el encendido (Bosch R, 2005) menciona que: “El momento de encendido más adelantado posible está determinado por el límite de resistencia a la detonación y el momento de encendido más retardado posible por el límite de combustión o por la máxima temperatura admisible de los gases de escape.” (p. 619)

El momento de encendido influye en:

- El par de giro suministrado.
- Las emisiones de gases.
- El consumo de combustible.

El ángulo de encendido se determina de manera que se cumplan todos los requerimientos lo mejor posible. Durante el funcionamiento no debe producir un picado sostenido del motor.

2.5.2. Ángulo dwell

El ángulo dwell en los sistemas de ignición se refiere al período de tiempo en que se enciende la bobina, es decir, que la corriente fluye a través del devanado primario y el campo magnético se está acumulando en la bobina.

(Alonso J, 2014) Indica que: “Una peculiaridad importante de los sistemas de encendido electrónico es que el ángulo Dwell resulta variable en función del régimen de giro del motor, aumentando a medida que lo hace el régimen, hasta un valor establecido. Esta peculiaridad debe ser comprobada mediante un osciloscopio.” (p.79)

2.6. Bobina de encendido

Según (Bosch R, 2002) menciona que: “La bobina acumula la energía de encendido necesaria y genera la alta tensión para el salto de la chispa en el momento de encendido.” (p.69)

La bobina de encendido como indica la figura 6, en realidad son dos bobinas separadas envueltas alrededor de un núcleo de metal común, el campo magnético del primario y el campo magnético del secundario. La energía almacenada en el campo magnético del arrollamiento primario se

transmite por inducción magnética al lado del arrollamiento secundario y se produce un enorme pico de tensión que produce una chispa muy potente.

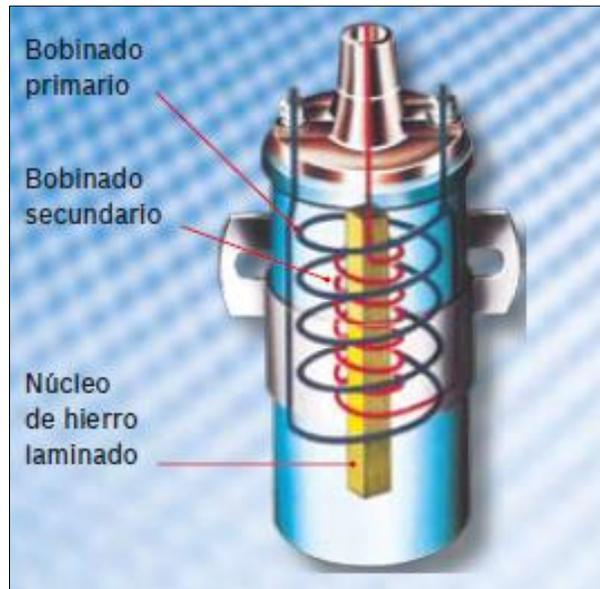


Figura 6 Bobina de encendido

Fuente: (Bosch R, 2002)

2.6.1. Función

(Bosch R, 2002) Menciona que: “El funcionamiento de una bobina de encendido se basa en la ley de la inducción. La energía acumulada en el campo magnético del arrollamiento primario se transmite por inducción magnética al lado secundario de la bobina. La corriente y la tensión son trasladadas del lado primario al secundario, transformándose en función de la relación del número de espiras.” (p.69)

Dado que hay varios cientos de vueltas de alambre en los devanados, se produce un campo magnético fuerte. Este campo magnético rodea tanto los devanados secundarios como los primarios. Se almacena la energía en el campo magnético generado por la corriente primaria y luego se libera esta energía cuando la corriente primaria se desactiva en el momento de la ignición.

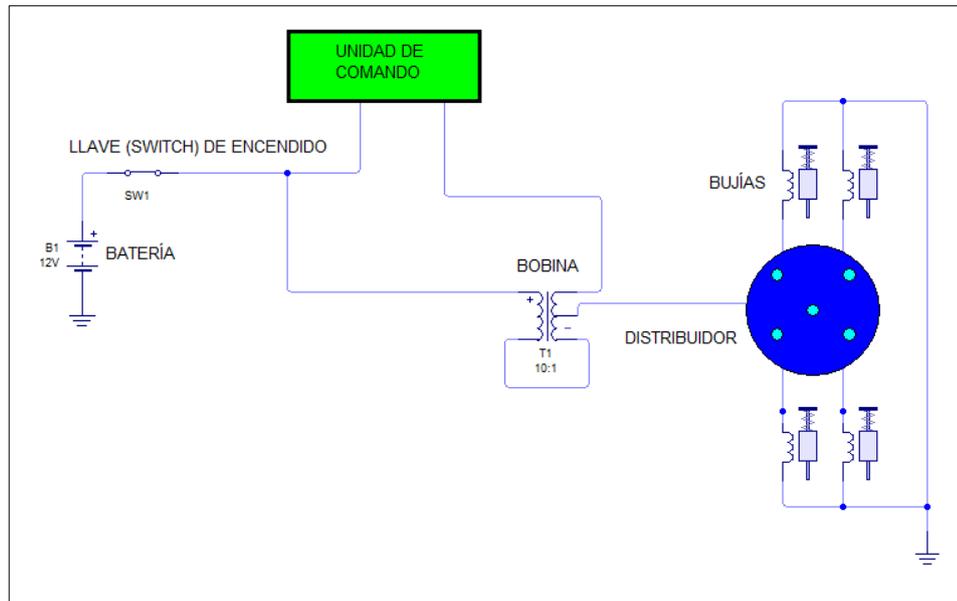


Figura 7 Función bobina de encendido

En la figura 7 el signo más de la bobina indica positivo y el signo menos indica negativo. La bobina debe instalarse en el circuito primario de acuerdo con la conexión a tierra de la batería, el terminal positivo de la bobina se conecta al interruptor de encendido mientras que el terminal negativo debe conectarse a través del módulo de encendido o del distribuidor a tierra, según corresponda. Esto se hace para asegurar la polaridad correcta en la bujía.

2.6.2. Generación de alta tensión

Según (NGK, 2017) indica que: “El impulso de alta tensión de una bobina se genera en la bobina secundaria con ayuda de la inducción magnética. Para ello, en primer lugar la bobina primaria se carga con la tensión de la batería a través de la conexión de baja tensión de la bobina. Al mismo tiempo, alrededor de la bobina primaria se forma un campo magnético. Si se interrumpe este flujo de corriente, el campo magnético decae. Esta bajada activa un impulso de tensión en la bobina secundaria.”

(Bosch R, 2002) Menciona que: “La tensión secundaria en todo caso ha de ser mayor que la tensión necesaria (demanda de tensión) para el salto de la chispa en la bujía de encendido. La energía de la chispa tiene que ser lo suficientemente grande para encender la mezcla, también en caso de producirse chispas sucesivas.” (p.70)

2.6.3. Generación de campo magnético

Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un alambre, se produce un campo magnético alrededor del alambre. La magnitud y la dirección del campo dependen de la forma del alambre y de la dirección y magnitud de la corriente a través del alambre.

(Pardiñas J, 2012) Menciona que: “Al momento que circula una corriente eléctrica a través de una bobina, genera un campo magnético; al mismo tiempo, si varía un campo magnético cerca de una bobina, esta variación provocará una corriente eléctrica en el interior de la misma.” (p.11)

2.6.4. Circuito primario

El circuito primario como indica la figura 8 trabaja con bajo voltaje, está compuesto de todos los componentes y circuitos que proveen 12 Voltios y la señal que interrumpe la tierra a la bobina de encendido.

Los componentes del circuito primario son:

- Batería: Fuente de energía al circuito.
- Switch de ignición: Conecta y desconecta el flujo de corriente al sistema de encendido.
- Balastra resistiva: Controla el flujo de corriente a la bobina.
- Devanado primario de la bobina: Convierte la energía dentro de un fuerte campo magnético, permitiendo que el distribuidor envíe los pulsos a la unidad de control electrónica.

- Unidad de control electrónica: “Interruptor eléctrico”, conecta y desconecta la corriente principal de la bobina de encendido

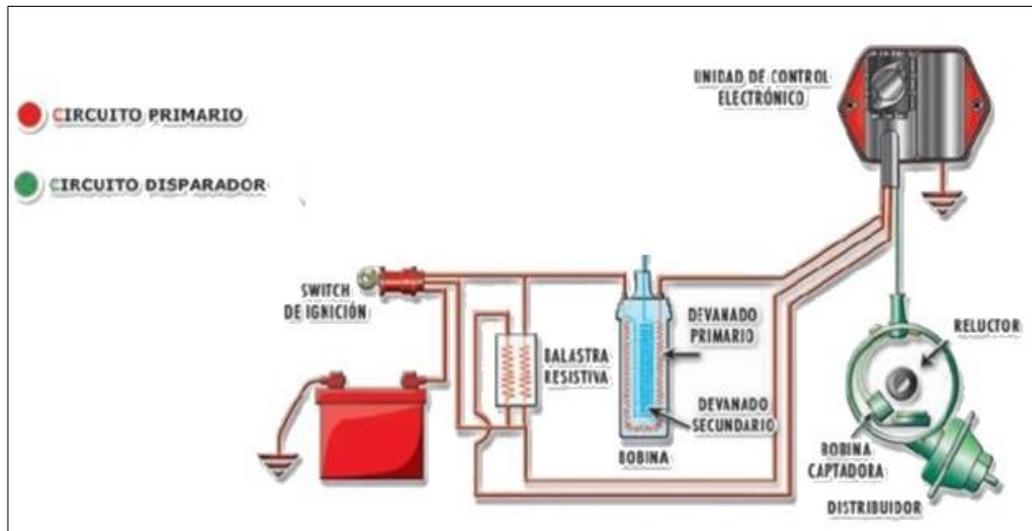


Figura 8 Circuito Primario

Fuente: (E-Auto, 2017)

a. Oscilograma de circuito primario

En el oscilograma de encendido primario de la figura 9 se observan variaciones de tensión que coinciden en el momento de apertura y cierre de los contactos del ruptor.

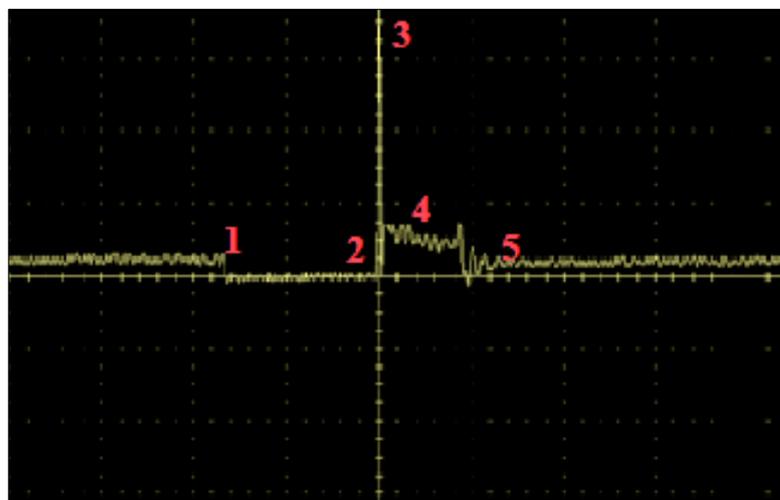


Figura 9 Oscilograma del circuito primario

Para una correcta interpretación del oscilograma primario se realiza el siguiente análisis:

1. El ruptor se cierra. Por lo que la tensión cae cerca a tierra y permanece así hasta el disparo de la chispa.
2. Momento de apertura de los contactos del ruptor.
3. Impulso de alta tensión, se alcanza la tensión necesaria para el encendido y salta la chispa a la bujía.
4. Representa la duración que tiene la chispa y se mantiene durante cierto tiempo a una determinada tensión.
5. Cuando queda sin energía suficiente para la chispa, la energía restante se agota, se cierran los contactos del ruptor.

2.6.5. Circuito Secundario

El circuito secundario como indica la figura 10 trabaja con alto voltaje. Dependiendo del sistema, este circuito puede requerir 30,000 voltios o más. Cada uno de sus componentes tiene una función importante dentro de la operación de este sistema.

Los componentes del circuito secundario son:

- Devanado secundario de la bobina: Produce el alto voltaje inducido dentro de la bobina de ignición, producto del campo magnético que se genera a través de las miles de vueltas del devanado secundario de la bobina.
- Tapa de distribuidor y rotor: El rotor es un dispositivo que constantemente se encuentra girando mientras el motor está funcionando y se encarga de enviar el voltaje de ignición a cada una de las bujías.

- Cables de bujías: Se conectan entre las terminales exteriores de la tapa del distribuidor y las bujías, se encargan de llevar la tensión necesaria a la bujía.
- Bujías: Se encargan de encender la mezcla aire/combustible.

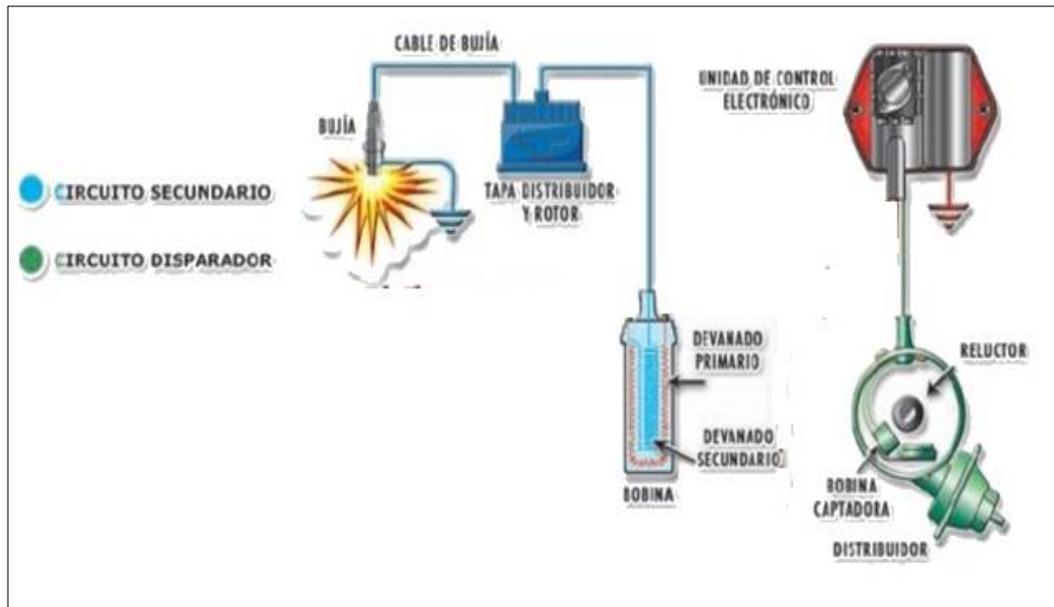


Figura 10 Circuito Secundario

Fuente: (E-Auto, 2017)

b. Oscilograma de circuito secundario

En el oscilograma secundario de la figura 11 se representa gráficamente la tensión que existe entre los electrodos de la bujía durante un ciclo completo en la ignición.

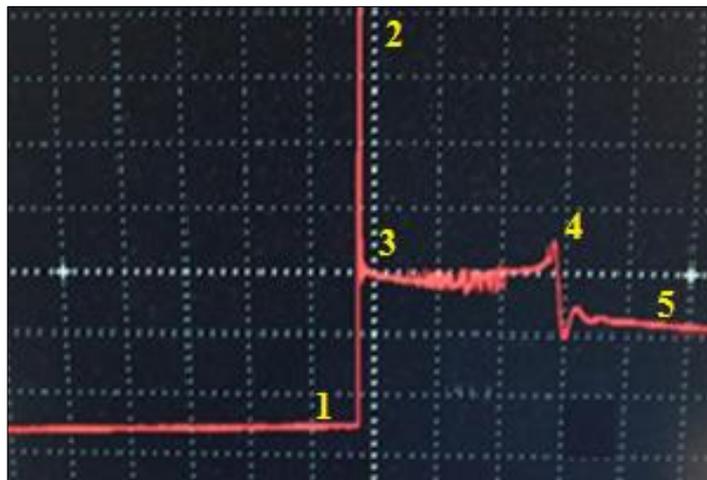


Figura 11 Oscilograma del circuito secundario

Para una correcta interpretación del oscilograma secundario se realiza el siguiente análisis:

1. Momento de apertura de los contactos del ruptor.
2. Tensión de encendido, necesaria para iniciar la sucesión de chispas.
3. Disminución de tensión, consecuencia de la carga de corriente que supone el salto de chispa entre los electrodos.
4. Representa la duración que tiene la chispa y se mantiene durante cierto tiempo a una determinada tensión.
5. Zona de amortiguación, se disipa la energía almacenada.

2.6.6. Cálculo de Bobinas

(Pérez, 2011) Menciona que: “La relación entre el número de espiras del bobinado primario y secundario determina la llamada relación de transformación” (p. 9).

Depende del número de espiras que disponen cada arrollamiento, en la ecuación se indica N_p que es el devanado primario y N_s que es el devanado secundario, está relación de transformación oscila en torno a 100, con esto se

deduce que el voltaje inducido en el secundario es 100 veces mayor que en el primario.

$$RT = \frac{N_P}{N_S} \quad (12)$$

Ecuación 12 Relación de transformación devanado

Fuente: (Pérez, 2011)

También se puede determinar a partir de los voltajes de ambos arrollamientos donde V_p indica el voltaje del bobinado primario y V_s el voltaje del bobinado secundario.

$$RT = \frac{V_P}{V_S} \quad (13)$$

Ecuación 13 Relación de transformación voltaje

Fuente: (Pérez, 2011)

El número de chispas que necesita un motor de combustión interna se calculará con la siguiente fórmula:

$$F = \frac{RPM * i}{2} \quad (14)$$

Ecuación 14 Cálculo número de chispas

Fuente: (Bosch R, 2005)

2.6.7. Tiempo de quemado

La duración del tiempo de quemado es el arco de chispa que se mantiene a través de los electrodos de la bujía, se mide en milisegundos (ms), este tiempo de quemado la bujía utiliza para determinar el estado de los componentes de encendido secundario (es decir, cualquier cosa después de

los devanados secundarios de la bobina de ignición, bujías de encendido, cables de alta tensión, tapa del distribuidor, rotor).

El tiempo de quemado se ve afectado directamente por la cantidad de tensión de la bobina, la cantidad de voltaje requerido para superar la resistencia del circuito secundario y crear la chispa y la cantidad de voltaje restante para mantener la chispa.

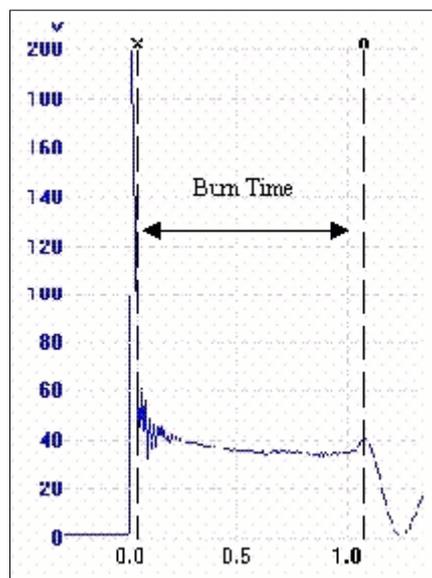


Figura 12 Tiempo de quemado

Fuente: (Pico, 2017)

El tiempo de quemado como indica la figura 12 se puede medir en un osciloscopio, de 1,0 a 2,0 ms se considera normal, de 0,8 a 1,0 ms es más corto de lo normal, pero dependiendo del motor y el diseño del sistema de encendido puede ser aceptable, menos de 0,8 ms es demasiado corto e indica un problema, de 2,0 a 2,4 ms es más largo de lo normal, pero dependiendo del motor y el diseño del sistema de encendido puede ser aceptable, de 2.4 ms o más es demasiado largo e indica un problema.

2.7. Encendido multichispa

El encendido multichispa extiende la duración de la chispa, con una descarga regulada para una ignición fiable, la mejor combustión de la mezcla aire-combustible, sistemas de inyección alternativos también requieren un sistema de encendido mejorado. Con el fin de satisfacer las mayores necesidades, hay un encendido de descarga capacitiva de chispa múltiple del sistema (CDI) que se ha desarrollado con la duración de la chispa prolongado.

2.7.1. Módulo de encendido multichispa MSD Street Fire

El módulo de encendido multichispa MSD Street Fire, el cual se muestra en la figura 13, ha sido elaborado con la finalidad de poder ser instalado de una manera sencilla y desatendida. “El encendido está construido alrededor de una carcasa de aluminio fundido y resistente, se conecta fácilmente a puntos, amplificadores y distribuidores con captadores magnéticos. Posee un limitador de rpm ajustable con controles rotativos en incrementos de 100 rpm. Para motores de 4, 6 u 8 cilindros” (MSD Performance, 2016)



Figura 13 Encendido multichispa

Fuente: (MSD Performance, 21016)

Especificaciones:

- Tecnología de descarga capacitiva.
- Múltiples chispas mejora el arranque y la marcha lenta.
- Potencia total de salida a altas revoluciones.
- Se conecta fácilmente a los puntos, amplificadores y distribuidores con captadores magnéticos.
- Limitador de revoluciones regulable de protección si se sobre revoluciona.

2.7.2. Funcionamiento

El módulo de encendido MSD Street Fire ha sido diseñado para operar en automóviles que cuentan con el encendido CDI. “El encendido de descarga capacitiva ofrece la tecnología y se disparará una serie de múltiples chispas que duran 20° de rotación del cigüeñal” (MSD Performance, 2016).

Puede operar en cualquier negativo o tierra y 12 V del sistema eléctrico con un distribuidor. Se puede utilizar con baterías de 16 V y soportar unos momentáneos 24 voltios en caso de salto del arranque. La ignición entregará voltaje completo con un suministro de 9 - 18 V y funcionará con una tensión de alimentación bajo como 7 voltios.

Tabla 4

Características módulo MSD Street Fire

Consumo de Corriente	0,7 Amperios por 1000 RPM
Tensión Primaria	435 V
Rango de RPM	15500 RPM con 14,4 V
Tensión Secundaria	43000 V
Energía de Chispa	95 mJ por chispa
Duración de la Chispa	20° de rotación del cigüeñal
Voltaje Necesario	10 – 18 V, Masa o tierra
Peso y tamaño	1,5 lb 6" Largo x 3,5" Ancho x 1,75" Alto

Fuente: (MSD Performance, 2016)

2.7.3. Diagrama de conexión

La figura 14 muestra el diagrama de conexión del módulo de encendido multichispa y de cada uno de sus cables.

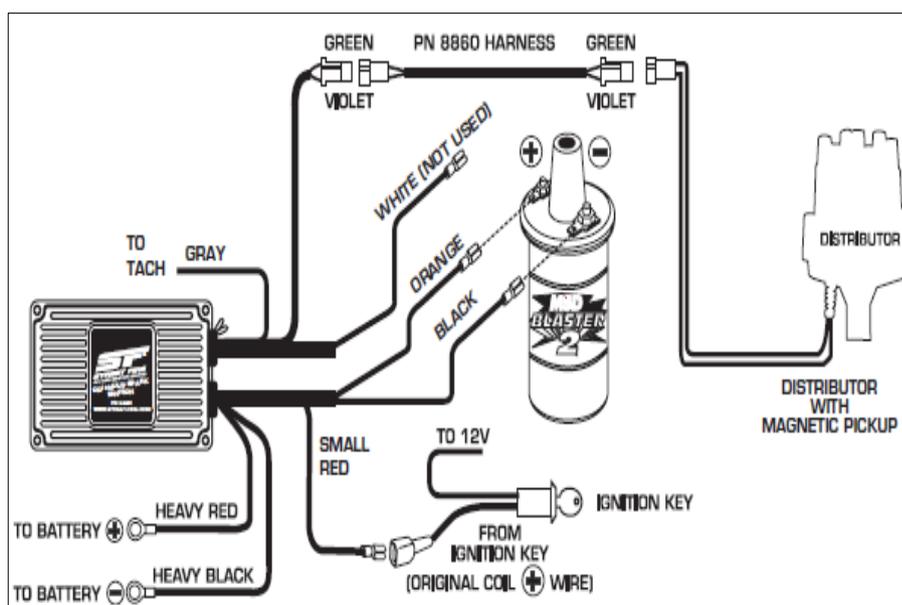


Figura 14 Diagrama de conexión Modulo MSD Street Fire

Fuente: (MSD Performance, 2016)

Tabla 5

Funciones de los cables de conexión

Cables de corriente	Estos son dos cables de calibre grueso (calibre 14) y son responsables de conseguir voltaje de la batería a la ignición.
Rojo Fuerte	Este cable se conecta directamente a la batería terminal positivo (+) o al lado positivo del solenoide de arranque. Nota: Nunca conecte al alternador.
Negro Fuerte	Este cable se conecta a una buena tierra, negativo de la batería (-).
Rojo	Se conecta a una fuente conmutada de 12 voltios. Como la llave de contacto.
Naranja	Se conecta a la terminal (+) positivo de la bobina. Este es el único cable que hace contacto eléctrico con el terminal positivo de la bobina.
Negro	Se conecta al terminal negativo (-) de la bobina. Este es el único cable que hace contacto eléctrico con el terminal negativo de la bobina.
Gris	Cable de salida del tacómetro. Conectar con el tacómetro u otro dispositivo que mida rpm.
Cables de activación	Hay dos circuitos que se pueden utilizar para activar la ignición Street Fire; un circuito de Puntos (cable blanco) y un circuito del captador magnético (Violeta y cables verdes). Los dos circuitos nunca se pueden utilizar juntos.

CONTINÚA



Blanco	Este cable se utiliza para conectar a los puntos o salida del amplificador de encendido electrónico.
Violeta y verde	Estos cables se encaminan juntos en un arnés para formar el conector del captador magnético. El conector se enchufa directamente en un Distribuidor MSD. También se conectará con pastillas magnéticas de fábrica u otras pastillas de recambio. El cable violeta es positivo (+) y el verde es negativo (-).

Fuente: (MSD Performance, 2016)

2.8. Bobina de alto rendimiento MSD Blaster 2

La bobina MSD Blaster 2 la cual se muestra en la figura 15 está diseñada para mejorar la salida de la chispa. “Un devanado especial 100:1 que utiliza para proporcionar una acumulación máxima de tensión. Estos devanados se mantienen seguros y frescos en un recipiente de metal lleno de un aceite aislante.” (MSD Performance, 2016)



Figura 15 Bobina MSD Blaster 2

Fuente: (MSD Performance, 2016)

Tabla 6

Características Bobina MSD Blaster 2

Tensión máxima	45000 V
Relación de vueltas	100: 1
Inductancia	8,0 mH
Pico máximo de corriente	140 mA

CONTINÚA



Resistencia Primaria	0,7 Ohms
Resistencia Secundaria	4,5 K Ohms
Duración de la chispa	350 uS

Fuente: (MSD Performance, 2016)

2.8.1. Diagrama de conexión

La figura 13 muestra el diagrama de conexión de la bobina MSD Blaster 2, tiene que conectarse al módulo de encendido, ya que el módulo envía los pulsos para la chispa en la bujía.

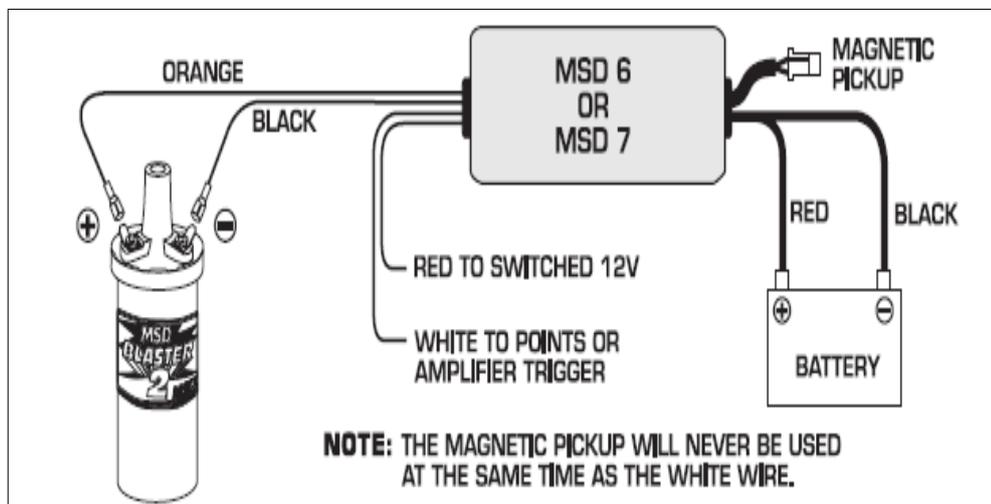


Figura 16 Diagrama de conexión Bobina Blaster 2

Fuente: (MSD Performance, 2016)

2.9. Dinamómetro de rodillos

El dinamómetro de rodillos es útil para comprobar la potencia torque y consumo de combustible de un motor a distintos escenarios de funcionamiento.



Figura 17 Dinamómetro de rodillos

Este tipo de dinamómetro tiene un sistema de rodillos colocados en el piso, donde también se encuentran el freno hidráulico, bomba de agua, sensores de presión y velocidad los que determinan los diferentes parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna.

En los rodillos es donde coloca la tracción del vehículo, los proporcionan una fuerza de resistencia contra las ruedas lo que permite simular una situación específica, para calcular la potencia y el torque del motor, la proporción que ofrecen los rodillos es equivalente a la tracción del vehículo en un área plana.

2.9.1. Elemento del dinamómetro de rodillos

El dinamómetro de rodillos tiene los siguientes elementos:

- **Chasis:** Es la parte del dinamómetro que sostiene el esfuerzo creado por el peso de las piezas y se encarga de absorber las vibraciones que producen las pruebas
- **Rodillos:** Son estructuras cilíndricas que se mueven alrededor de un eje permitiendo registrar velocidad de giro de la rueda.

- Sistema de inercia: Permite aumentar o disminuir la inercia total rotativa del dinamómetro con el fin de representar resistencia al avance que tendría el vehículo en carretera.
- Dispositivo de adquisición: Hay dos tipos de dispositivos de mecanismos, el primero es una celda de carga que funciona como un transductor, convierte la fuerza en una señal eléctrica que luego es amplificada y procesada para convertir en un dato, el segundo dispositivo de adquisición es una rueda fónica con un captador magnético que genera un pulso para amplificarlo y procesarlo como dato.
- Unidad de absorción de potencia: Se encarga de detener el giro de los rodillos, está ubicada en extremos sobre los rodamientos, gira en el mismo sentido que los rodillos.

2.9.2. Características principales

El dinamómetro debe representar la fuerza que se opone al avance del vehículo por un camino simple, nivelado con una temperatura y presión estándar, debe tener una unidad de absorción de potencia con la que puede simular las cargas del camino y volantes de inercia u otro método que permita simular la inercia del vehículo que se va a probar.

El dinamómetro debe ser construido con materiales y soldaduras de excelente calidad y de elevada resistencia para evitar que el vehículo sea desprendido durante la prueba y ocasione accidentes a los usuarios.

Tabla 7

Características dinamómetro de rodillos MOTORROLL

Características dinamómetro MOTORROLL	
Tipo de dinamómetro	Rodillos
Tipo de freno	Hidráulico
Diámetro de rodillos	165 mm
Brazo de palanca	256 mm
Peso bruto	950 kg
Carga máxima sobre rodillos	5000 kg

CONTINÚA



Potencia máxima medible	260 hp
Velocidad máxima	160 km/h (6000 rpm)
Alcance de revoluciones	20000 rpm
Electrónica utilizada	Interfaz motorroll con conexión a pc.
Sensor de velocidad	Óptico
Alimentación eléctrica	220 v / 30 / 85 hz
Alcance de revoluciones	20000 rpm

Fuente: (MOTORROLL, 2017)

2.9.3. Control

Para poder obtener los diferentes datos se emplean diferentes interfaces, los datos obtenidos por el dinamómetro por medio de los sensores permiten que la computadora procese la información de forma rápida y los resultados sean con un margen de error despreciable.

Para observar de manera gráfica las diferentes curvas de potencia, torque al momento de realizar las pruebas en el dinamómetro de rodillos se utiliza el software BLAHA desarrollado por el fabricante MOTORROLL.

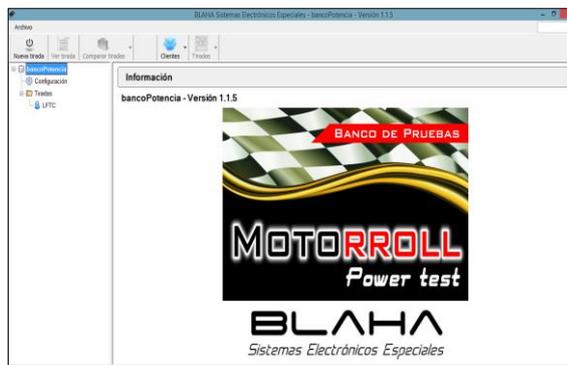


Figura 18 Software BLAHA

2.10. Osciloscopio automatiz

El osciloscopio de la figura 19 es un dispositivo eléctrico de prueba utilizado para verificar la funcionalidad del equipo que genera una señal eléctrica. Los osciloscopios miden el voltaje de una señal eléctrica en el tiempo y muestran la medición como una forma de onda en un gráfico visual. La forma

de onda muestra el voltaje en el eje vertical (Y), y el tiempo en el eje horizontal (X).



Figura 19 Osciloscopio automotriz OWON PDS5022T

2.10.1. Características osciloscopio OWON PDS5022T

“El osciloscopio OWON PDS5022T es un osciloscopio digital portátil de dos canales de 25 MHz con una velocidad máxima de muestreo en tiempo real de 100 MS / s, 20 Mediciones automáticas, función de escala automática y conectividad USB para aplicaciones electrónicas tales como pruebas de circuitos. Se pueden almacenar hasta cuatro formas de onda en la memoria interna. La unidad tiene un puerto USB para conectar a un PC e incluye software compatible con Microsoft Windows para transmitir datos y operación remota.” (OWON, 2017)

Tabla 8

Características osciloscopio OWON PDS5022T

Categoría	Especificación
Monitor	8" color TFT-LCD
Ancho de banda	25 MHz
Canales	Dos + externo
Tasa máxima de muestreo en tiempo real	100 MS / S
La longitud de registro	5 principales objetivos de ejecución por canal
Fuente de alimentación	100 a 240 V CA, 50 / 60 Hz, CAT II o una batería de iones de litio recargable
Dimensiones (H x W X D)	157 x 350 x 103 mm
Peso	1,7 kg

Fuente: (OWON, 2017)

2.11. Analizador de gases

El analizador de gases es una herramienta que por su tecnología determina los residuos de la combustión de los diferentes combustibles, permitiendo verificar el nivel exacto de emisiones de los gases de escape expulsados por el motor de combustión interna al medio exterior, el cual se observa en la figura 20.

En nuestro país, para motores a gasolina el análisis de gases se lo realiza bajo el reglamento RTE INEN 017 y la norma ecuatoriana INEN 004:2202 la cual indica los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por fuentes vehículos automotores a gasolina en pruebas estática o dinámica.

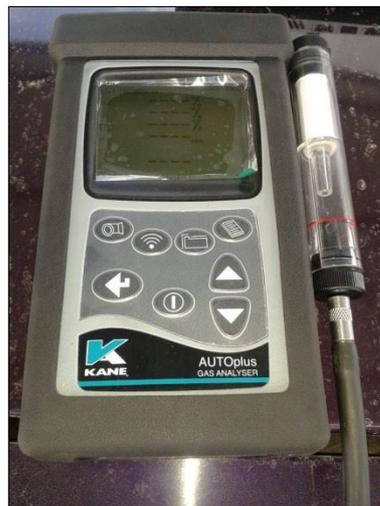


Figura 20 Analizador de gases Autoplus KANE

De acuerdo a la configuración y diseño del analizador de gases podrá medir simultáneamente residuos de la combustión como: C , CO , CO_2 , O_2 , NO , NO_2 , NO_x , coeficiente de opacidad y concentración de masa de partículas en unidades como partículas por millón (ppm), g/km y porcentaje.

2.11.1. Elementos del analizador de gases

El analizador de gases consta de los siguientes elementos:

- Filtro de retención de humedad
- Filtro de carbón activo
- Válvula para calibración de altas y bajas
- Sensores electroquímicos para medir los niveles de contaminantes
- Sonda de muestreo de tubo de escape
- Modulo magnético de revoluciones
- Software e interface

2.11.2. Características del analizador de gases

Tabla 9

Características del analizador de gases AUTOplus KANE

AUTOplus KANE					
Ámbito de aplicación	Medición de gases de escape móvil o fija en vehículos GASOLINA, GLP, GNC & DIESEL				
Gases mesurables	<i>CO₂</i>	<i>HC</i>	<i>O₂</i>	<i>NO_x</i>	λ
Rangos de medición	0 - 16%	0 - 5000 PPM	0 - 21%	0 – 5000 PPM	0.8 – 1.2
Principio de medición	Sistema infrarrojo	Sistema infrarrojo	Celda electro-química	Con sensor	Calculado
Tiempo de calentamiento	Menor a dos minutos				
Comunicación PC/Android	Bluetooth – RS - 232				
Memoria	500 Test				
Dim. Unidad principal	220 x 55 x 120 mm				
Peso	1 Kg				
Sonda	350 x 15 mm				
Manguera	4 metros				
Temperatura ambiente	5 – 45 °C				
Humedad	10 – 90% RH no condensada				
Temperatura almacenamiento	0 – 50 °C				
Alimentación cargador baterías	100/240 V – 47/63 Hz				

CONTINÚA



Salida cargador baterías	12 VDC
Respaldo baterías	4 horas con full carga

Fuente: (Kane, 2017)

CAPÍTULO III

3. INSTALACIÓN DEL MÓDULO DE ENCENDIDO MULTICHISPA MSD STREET FIRE Y PROTOCOLO DE PRUEBAS

Para la ejecución de la investigación, se utilizó un enfoque metodológico de campo y experimental, a través de mediciones de cada uno de los procesos, para lo cual se establece un orden de pruebas experimentales (torque, potencia, análisis de gases y consumo específico de combustible) aplicados en el motor del vehículo Fiat MILLE 1.3, con el módulo de encendido multichispa.

3.1. Implementación del dispositivo

Para implementar el encendido multichispa MSD Street Fire, se debe conocer las características del vehículo FIAT MILLE, de acuerdo las especificaciones del fabricante.

3.1.1. Características de fábrica del vehículo FIAT MILLE 1.3

Tabla 10

Características del vehículo FIAT MILLE 1.3

Ficha Técnica	
Fabricante	Fiat
Modelo	Mille 1.3
Año de fabricación	1994
Categoría	Turismo
Prestaciones y consumos homologados	
Velocidad máxima (Km/h)	140
Aceleración 0 – 100km/h (s)	15,4
Consumo (l/100km)	5,9
Consumo indicado (l/h)	4,72 l/h
Motor de combustión	
Combustible	Gasolina
Potencia máxima CV – kW / rpm	67,05 - 50 / 5700
Par máximo N-m / rpm	100 / 2900
Disposición	Transversal
Número de cilindros	4 – En línea
Material de bloque / culata	Hierro fundido / Aleación ligera

CONTINÚA



Diámetro x carrera (mm)	86,4 x 55,5
Cilindrada (cm³)	1301
Relación de compresión	9,1 : 1
Distribución	Dos válvulas por cilindro, un árbol de leva

Fuente: (Strasman, 1996)

3.1.2. Identificación del tipo de encendido

Sistema de encendido Digiplex, este sistema electrónico elimina el interruptor de contacto mecánico y el mecanismo de avance centrífugo de los distribuidores convencionales y utiliza una unidad de control electrónico para proporcionar valores de avance según la velocidad y la carga del motor.

La información transmitida a la unidad de control es proporcionada por un sensor que controla la velocidad del motor, el TDC (sensor del punto muerto del pistón) directamente desde el cigüeñal del motor.

3.1.3. Ubicación de los elementos para la implementación

Para la implementación se identifica dónde está el distribuidor, la bobina y la unidad de control de la figura 21:

- Distribuidor: Montado en el cárter y es accionado de un engranaje en el eje auxiliar como es también la bomba de aceite.
- Bobina: Se encuentra al lado derecho superior del depósito de líquido de frenos
- Unidad de control: Al lado izquierdo de la batería.

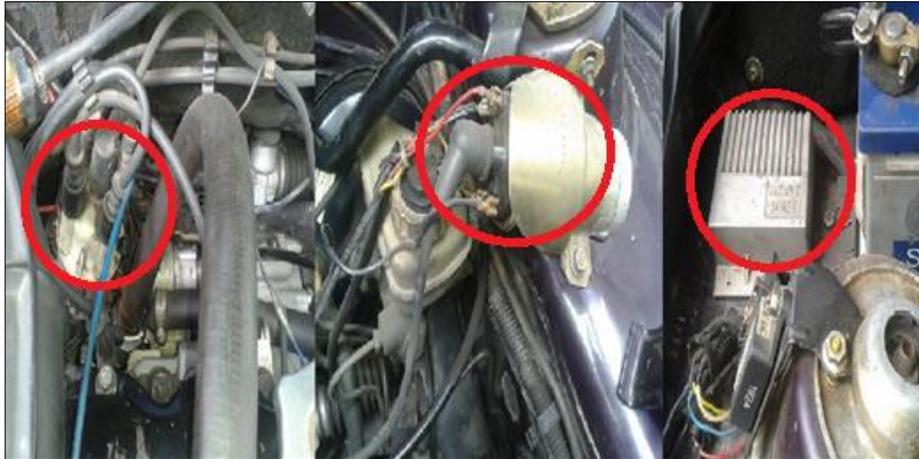


Figura 21 Identificación de elementos: Distribuidor, bobina y unidad de control

3.1.4. Instalación del módulo de encendido multichispa

Para instalar el módulo se debe considerar lo siguiente:

- Los únicos cables conectados a los terminales de la bobina son el naranja al terminal positivo y el negro al terminal negativo.
- El pequeño cable rojo del módulo debe ir conectado a una fuente conmutada de 12 voltios o al switch de encendido.
- Los cables de alimentación deben estar conectados directamente a los terminales positivo y negativo de la batería.
- La batería debe estar conectada y completamente cargada si no se utiliza un alternador.
- El motor debe estar equipado con al menos una tira de tierra al chasis.

3.1.5. Conexión eléctrica

Para realizar la conexión eléctrica se verifica el esquema del módulo de la figura 22.

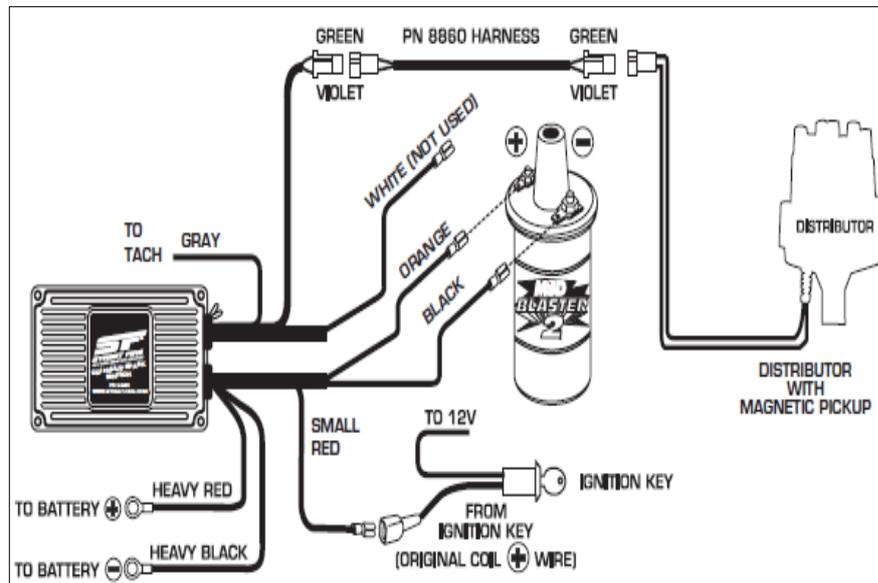


Figura 22 Diagrama de conexión Módulo MSD Street Fire

Fuente: (MSD Performance, 2016)

- El arnés 8860 (cable verde y violeta) de la figura 23 es utilizado para la conexión del distribuidor con captador magnético se conecta desde la salida que dan los pulsos del distribuidor hasta el módulo.

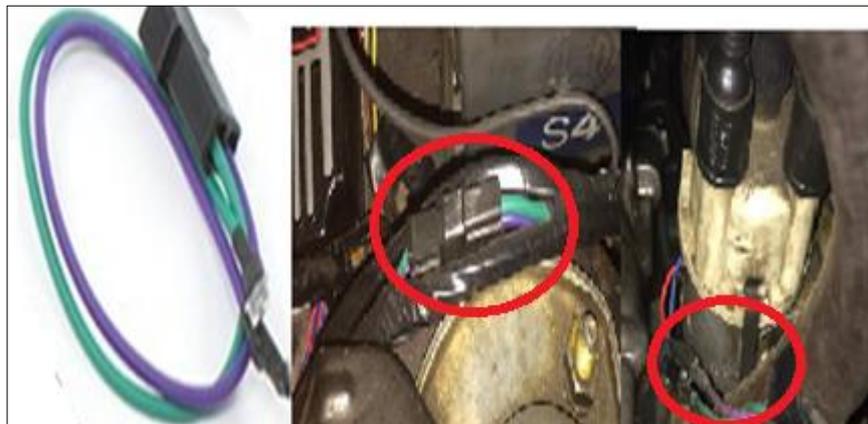


Figura 23 Conexión arnés 8860

- El cable plomo de la figura 24 se conecta desde el módulo hasta el sensor de revoluciones de motor, el mismo que va al tacómetro.

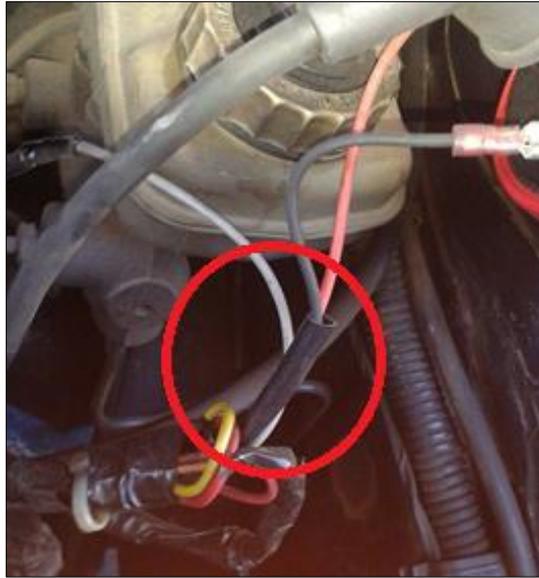


Figura 24 Cable plomo conexión al tacómetro

- El cable rojo de alimentación del módulo de la figura 25 se conecta directamente al terminal positivo de la batería.

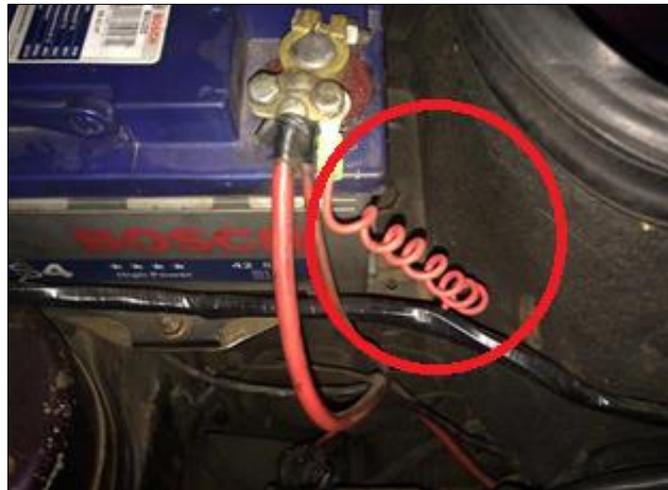


Figura 25 Cable rojo alimentación del módulo

- El cable negro de masa del módulo de la figura 26 va conectado directamente al terminal negativo de la batería.



Figura 26 Cable negro masa del módulo

- El cable rojo delgado de la figura 27 va conectado desde el módulo hasta la llave de ignición o de contacto.



Figura 27 Cable rojo delgado conexión a llave de ignición

- El cable anaranjado y negro delgado de la figura 28 son conectados desde el módulo hasta los terminales positivo y negativo de la bobina respectivamente.



Figura 28 Cable anaranjado y negro, terminal positivo y negativo de la bobina

Una vez conectados todos los cables del encendido multichispa y que esté instalado en el motor se procede a las pruebas en el dinamómetro y en el analizador de gases de escape.

3.2. Protocolo de ensayo en el banco dinamométrico

Para poder realizar las pruebas en el banco dinamométrico hay que tener muy en cuenta que el vehículo este centrado en el dinamómetro y poseer precaución al mantener el volante de manera correcta para que no exista ningún accidente.

Procedimientos para el ensayo dinamométrico:

- Colocar el vehículo en el centro de los rodillos del banco dinamométrico como indica la figura 29 para que no se produzcan movimientos laterales al realizar las pruebas.



Figura 29 Vehículo centrado en los rodillos

- Anclar el vehículo alzando el freno de estacionamiento y colocar el extractor de gases en el escape como indica la figura 30.



Figura 30 Extractor de gases de escape

- Conectar la interfaz a la alimentación figura 31 y los diferentes sensores del dinamómetro.



Figura 31 Conexión de interfaz del dinamómetro

- Conectar la bomba de agua figura 32 y esperar que el agua circule para ponerle en funcionamiento.



Figura 32 Conexión bomba de agua

- Colocar el ventilador en el frente del vehículo para que no exista recalentamiento al realizar las pruebas como indica la figura 33.



Figura 33 Ventilador dinamómetro

- Se gira la perilla de la figura 34 para ajustar el freno hidráulico de acuerdo a la potencia del vehículo donde se realizan las pruebas



Figura 34 Aplicación de carga al dinamómetro

3.3. Configuración del banco dinamométrico

Para realizar la configuración del banco dinamométrico MOTORROLL se utiliza el software BLAHA que debe estar instalado en un computador portátil o de escritorio.

Procedimiento para la configuración del banco dinamométrico:

- Inicializar el programa en el computador (figura 35).



Figura 35 Inicio software Blaha

- Ir a configuración y seleccionar el tipo de banco a utilizar como indica la figura 36.

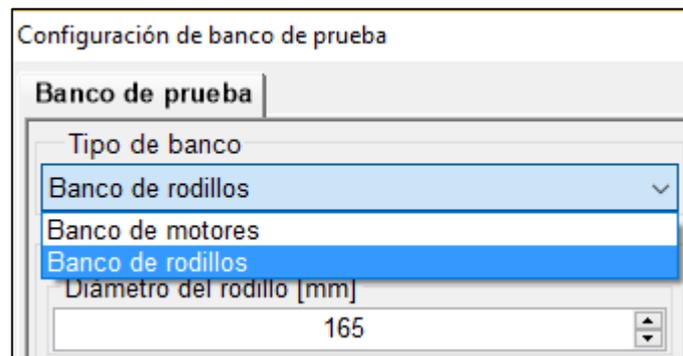


Figura 36 Selección banco de rodillos

- Seleccionar nueva tirada (figura 37).

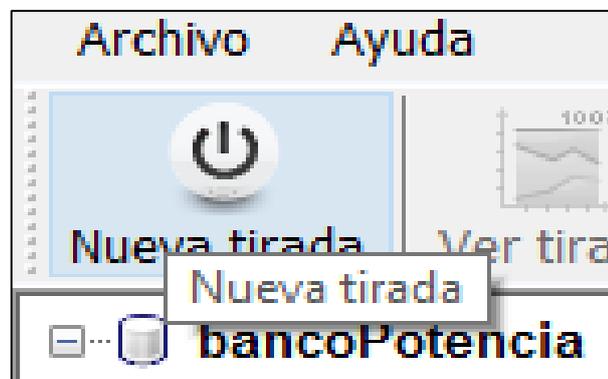


Figura 37 Selección de nueva tirada

- Ir a configuración de tirada y seleccionar el método de medición como indica la figura 38.

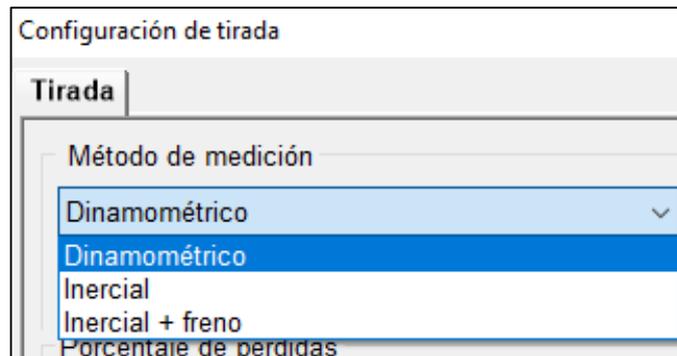


Figura 38 Selección método de medición dinamométrico

- Seleccionar las RPM del motor para saber cuándo inicia y cuando va a terminar la prueba en nuestro caso las pruebas inician en 1200 RPM y cortan a 5050 RPM como se muestra en la figura 39, en esas revoluciones se obtiene la mayor potencia y torque.

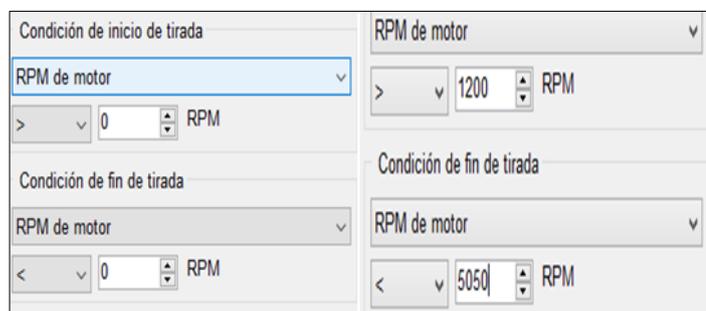


Figura 39 Selección de inicio y corte de RPM

- Para medir de manera correcta las revoluciones del motor con las del dinamómetro se selecciona la opción calibrar RPM del motor (figura 40).

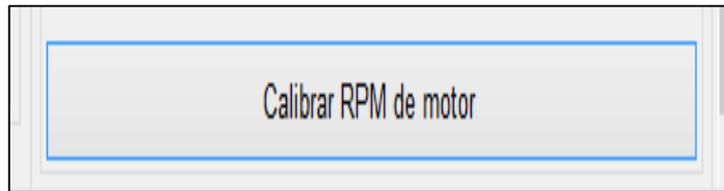


Figura 40 Calibración RPM motor

- Hacer que el motor alcance las 3000 rpm, para estar vinculado y calibrado con el dinamómetro (figura 41).

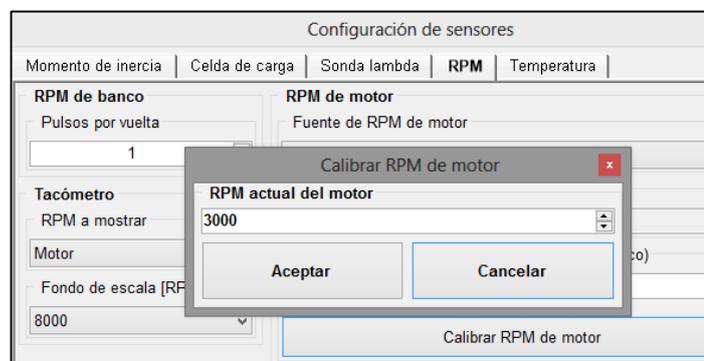


Figura 41 Ajuste RPM para calibración motor-dinamómetro

- Realizar las pruebas y visualizar las curvas de potencia y torque como se muestra en la figura 42.

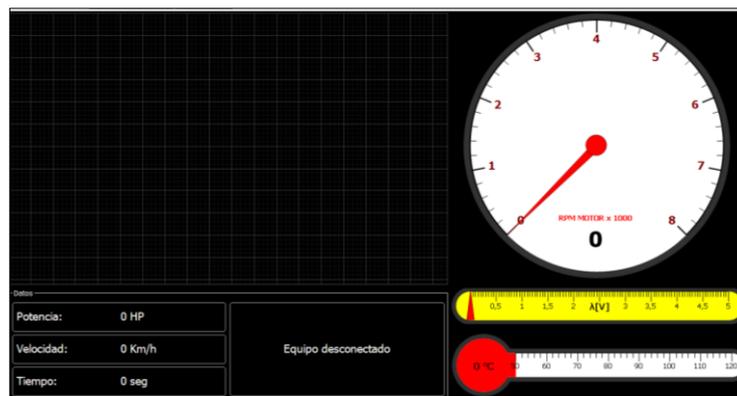


Figura 42 Visualización de curvas

- Después de realizar las pruebas se observan los resultados y las curvas resultantes (figura 43).

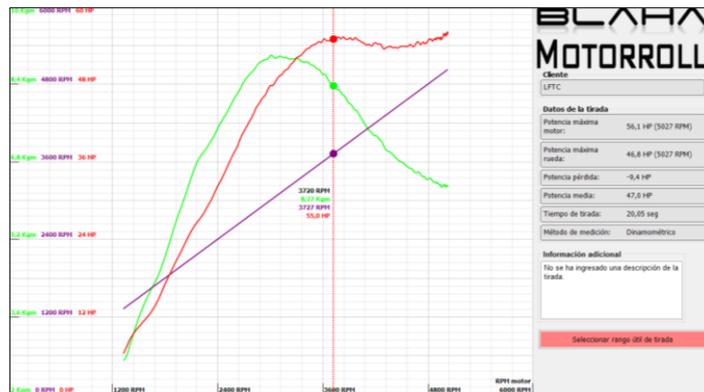


Figura 43 Curvas resultantes

3.3.1. Funciones software BLAHA

- En opciones de curva de la figura 44 se seleccionan los colores de las diferentes curvas, proporcionadas por el banco dinamométrico.

Opciones de curvas			
Visualización		Cálculos	
Nombre	Color	Suavizado	Visible
Distancia	[Color]	Sin suavi...	<input type="checkbox"/>
Freno	[Color]	3	<input type="checkbox"/>
Lambda	[Color]	5 - Mínimo	<input type="checkbox"/>
Potencia motor	[Color]	3	<input checked="" type="checkbox"/>
Potencia rueda	[Color]	3	<input type="checkbox"/>
RPM banco	[Color]	3	<input checked="" type="checkbox"/>
RPM motor	[Color]	3	<input type="checkbox"/>
Temperatura	[Color]	5 - Mínimo	<input type="checkbox"/>
Tiempo	[Color]	Sin suavi...	<input type="checkbox"/>
Torque	[Color]	3	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocidad	[Color]	3	<input type="checkbox"/>

Figura 44 Opciones de color de curvas

- En datos meteorológicos, como indica la figura 45, se coloca los datos de temperatura, presión atmosférica de la ciudad de Latacunga para realizar las pruebas así se obtienen los datos más exactos.

Figura 45 Ajuste de datos meteorológicos

- En escala de gráficos de la figura 46, se puede cambiar la potencia y torque del motor en función de las rpm del banco, rpm del motor, tiempo, velocidad; etc.

Figura 46 Escala horizontal de curvas

- Para visualizar cualquier prueba, se selecciona la opción ver tirada y nos muestra las curvas de cada ensayo como indica la figura 47.

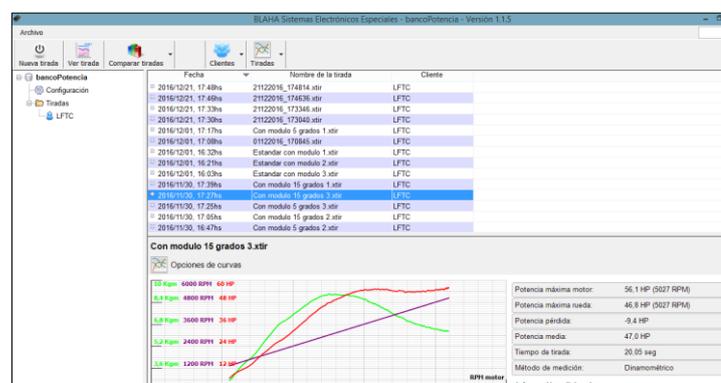


Figura 47 Curvas de cada ensayo

- En los cuadros verdes se puede observar la mayor potencia y el mayor torque que se obtiene en función de las RPM (figura 48).

Informe de tirada: con módulo 15 grados 3x3tr

Gráficos	Tablas		
Tiempo	RPM motor	Torque	Potencia motor
0,00 Seg	1322 RPM	2,70 Kgm	6,3 HP
2,01 Seg	2439 RPM	7,62 Kgm	33,2 HP
4,01 Seg	2988 RPM	8,96 Kgm	47,6 HP
4,13 Seg	3013 RPM	9,00 Kgm	47,8 HP
6,02 Seg	3376 RPM	8,86 Kgm	52,8 HP
8,02 Seg	3683 RPM	8,44 Kgm	54,8 HP
10,02 Seg	4001 RPM	7,83 Kgm	54,9 HP
12,03 Seg	4405 RPM	6,94 Kgm	53,7 HP
14,03 Seg	4754 RPM	6,50 Kgm	54,5 HP
16,04 Seg	4917 RPM	6,36 Kgm	55,2 HP
18,04 Seg	4983 RPM	6,33 Kgm	55,8 HP
19,96 Seg	5028 RPM	6,29 Kgm	56,1 HP
19,88 Seg	5028 RPM	6,30 Kgm	56,1 HP
20,03 Seg	5013 RPM	6,30 Kgm	55,6 HP

Figura 48 Valores resultantes ensayos

- Se realiza comparaciones de curvas en la opción “comparar tiradas” en el caso de nuestros ensayos se puede ejecutar curvas comparadas de potencia y torque como se visualiza en la figura 49.

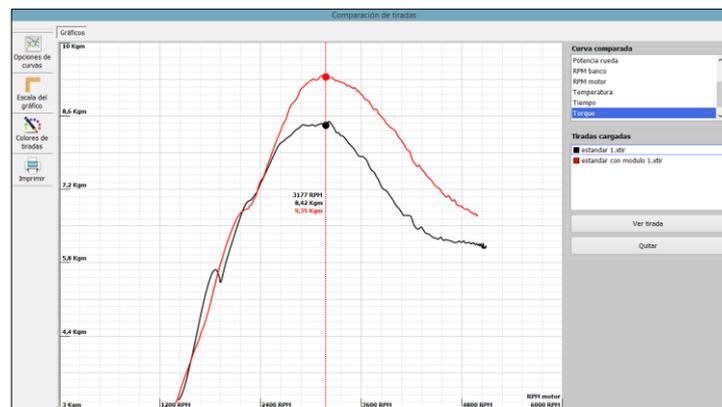


Figura 49 Comparación de curvas

3.4. Uso del osciloscopio OWON PDS5022T

Se utilizó el osciloscopio Owon PDS5022T para obtener el oscilograma del circuito primario y secundario, para verificar el tiempo de quemado y el voltaje de cada circuito.

3.4.1. Protocolo de ensayo osciloscopio OTC

- Conectar el osciloscopio a una fuente de alimentación de 110 V indica la figura 50.



Figura 50 Conexión osciloscopio

- Pulsar el botón de encendido que se encuentra en la parte superior del equipo, tocar cualquier botón para iniciar (figura 51).



Figura 51 Encendido del osciloscopio

- Conectar la punta del osciloscopio al canal uno como indica la figura 52.



Figura 52 Conexión punta de prueba osciloscopio

- Para realizar la prueba de manera correcta ahí que identificar donde se encuentra el cable de bujía del primer cilindro y el cable que da los pulsos en la bobina (figura 53).



Figura 53 Conexión para prueba de oscilograma secundario

- Para realizar la prueba del oscilograma secundario se conecta la pinza capacitiva al cable de corriente de la bujía del primer cilindro como muestra la figura 54.



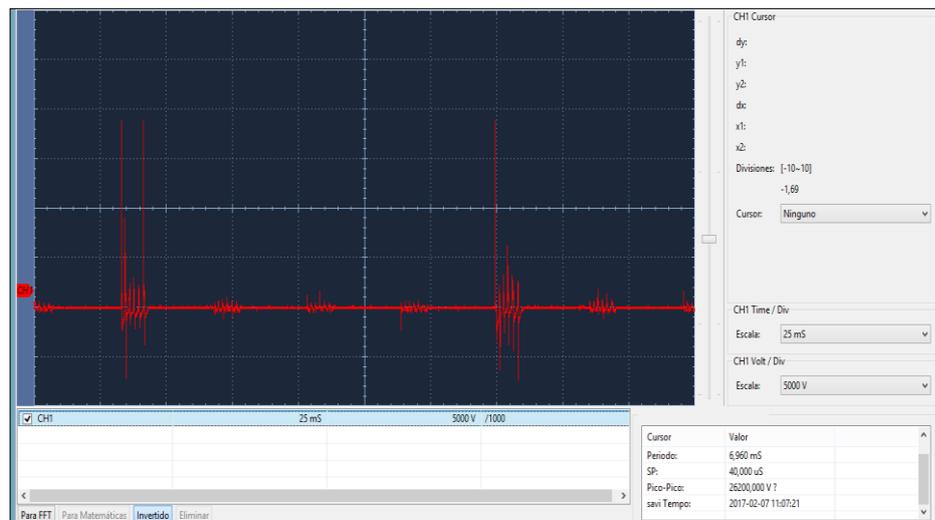
Figura 54 Conexión de pinza capacitiva

- La punta negativa del osciloscopio se conecta al cable que da los pulsos en la bobina y al termina negativo de la batería (figura 55).



Figura 55 Conexión de la punta negativa del osciloscopio

- Se visualiza el oscilograma del encendido como indica la figura 56.



**Figura 56 Visualización del oscilograma del circuito secundario
Software OWON osciloscopio 2.0.8.26**

3.5. Protocolo de ensayo pruebas de consumo de combustible

Para poder realizar la prueba de consumo de combustible en un vehículo que no tiene un puerto OBD II se recurrió al método gravimétrico pesando el combustible antes y después de cada prueba para determinar cuántos gramos por hora ha consumido el motor en cada ensayo.

- Desconectar la bomba de alimentación del motor (figura 57).

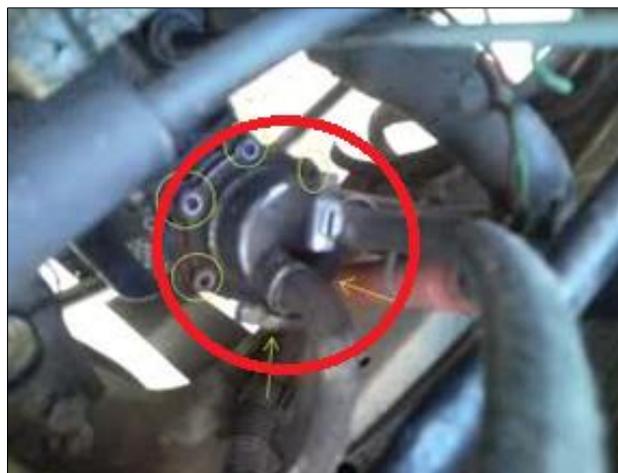


Figura 57 Desconexión bomba de alimentación

- Conectar las mangueras desde el depósito de combustible hasta el filtro de combustible que cumple la función de alimentación y retorno de combustible para que la medida de consumo sea más exacta (figura 58).



Figura 58 Conexión de mangueras al depósito de combustible

- Pesar el combustible con la ayuda de una balanza electrónica antes de la prueba como indica la figura 59.



Figura 59 Peso del combustible antes de la prueba

- Al acabar la prueba volver a pesar el combustible para saber la diferencia de masa del combustible y con cálculos poder determinar el consumo específico (figura 60)



Figura 60 Peso del combustible después de la prueba

3.6. Protocolo de ensayo analizador de gases

Antes de proceder al uso del analizador de gases y para que los resultados no resulten erróneos se debe verificar:

- El filtro de retención de humedad
- La caja de cambios que este en neutro o parqueo
- El choque del vehículo este fuera de operación
- El sistema de encendido
- El sistema de admisión y filtro de aire
- El filtro de gasolina.

Procedimiento para el análisis de gases:

- Prender el analizador de gases como indica la figura 61.



Figura 61 Analizador de gases AUTOplus Kane

- Vincular vía bluetooth el analizador a una computadora portátil (figura 62).



Figura 62 Conexión bluetooth analizador-computadora

- Conectar la sonda de muestreo de tubo de escape como indica la figura 63.



Figura 63 Conexión sonda de muestro del analizador de gases

- Encender el vehículo en la posición neutro, verificando que se encuentre a temperatura normal de operación como indica la figura 64.



Figura 64 Temperatura normal de operación del motor

- El equipo realiza una calibración automática para el análisis de gases como muestra la figura 65.



Figura 65 Calibración análisis de gases

- El equipo mide automáticamente valores de CO, CO₂ HC y O₂ (figura 66).



Figura 66 Medición de gases de escape

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DINAMOMÉTRICOS Y GASES

Se utilizó el método experimental, medición, observación directa durante el desarrollo de cada una de las pruebas, se analizó, comparó y tabuló, los resultados con el método comparativo, el método de matematización al obtener el torque, potencia y consumo de combustible mediante fórmulas.

4.1. Tabulación de resultados

Se tabularon todos los datos obtenidos de las diferentes pruebas, con el fin de determinar la variación de los parámetros característicos del motor 146 A.ED Fiat variando el avance de encendido a 5,10 y 15° estándar y con el módulo.

4.1.1. Tabulación de curvas de rendimiento

Se procedió a tabular todos los parámetros característicos obtenidos de las pruebas realizadas en el dinamómetro MOTORROLL del laboratorio de motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

a. Estándar a 5 grados

Tabla 11

Valores obtenidos en el dinamómetro a 5 grados

	Prueba de torque y potencia				
	Potencia			Torque	
	kW	Hp	Rpm	lb-ft	rpm
Prueba 1	40,1	53,8	5075	62,1	2977
Prueba 2	38,8	52,1	5156	58,9	2726

CONTINÚA



Prueba 3	39,9	53,5	5066	58,7	3033
Promedio	39,6	53,13		59,9	

Las figuras 67 y 68 muestran las comparaciones de potencia y torque de los valores obtenidos cuando el motor está sin el módulo multichispa y el encendido se encuentra variado el avance a 5°.

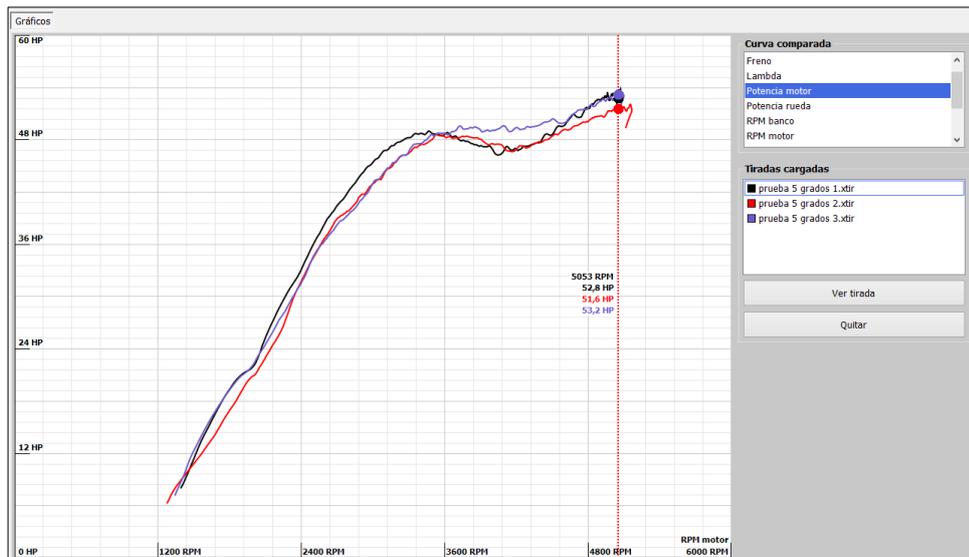


Figura 67 Curvas de potencia a 5° estándar

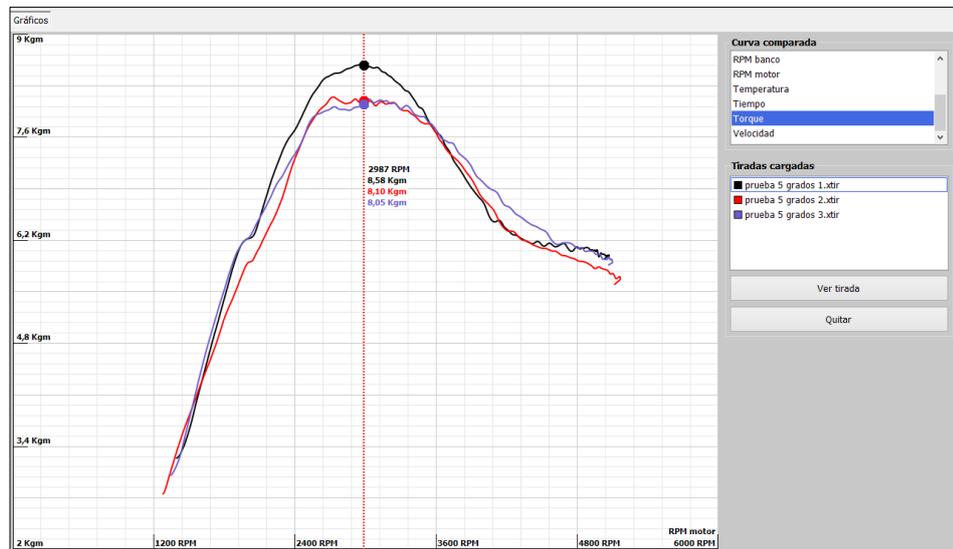


Figura 68 Curvas de torque a 5° estándar

b. Estándar a 10 grados

Tabla 12

Valores obtenidos en el dinamómetro a 10 grados

	Prueba de torque y potencia				
	Potencia			Torque	
	kW	Hp	Rpm	lb-ft	rpm
Prueba 1	41,1	55,2	5055	61,5	3217
Prueba 2	40,2	54	3775	64,4	2954
Prueba 3	41,4	55,5	4970	65,4	3192
Promedio	40,9	54,9		63,7	

En la figura 69 se muestra las comparaciones de las curvas de potencia cuando el motor se encuentra estándar y con un avance al encendido de 10°.

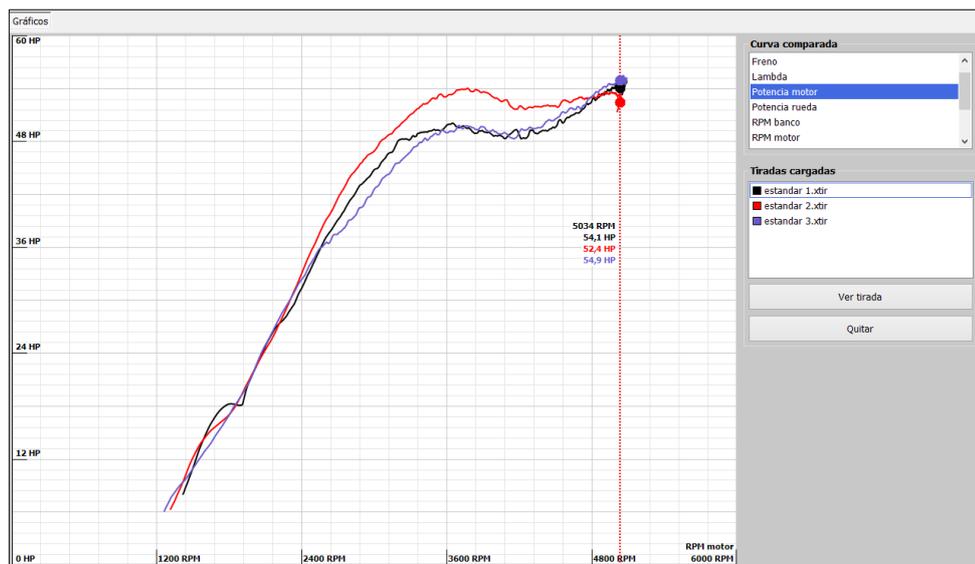


Figura 69 Curvas de potencia a 10° estándar

En la figura 70 se representan las comparaciones de torque cuando el motor se encuentra estándar y el encendido se encuentra con un avance al encendido de 10°.

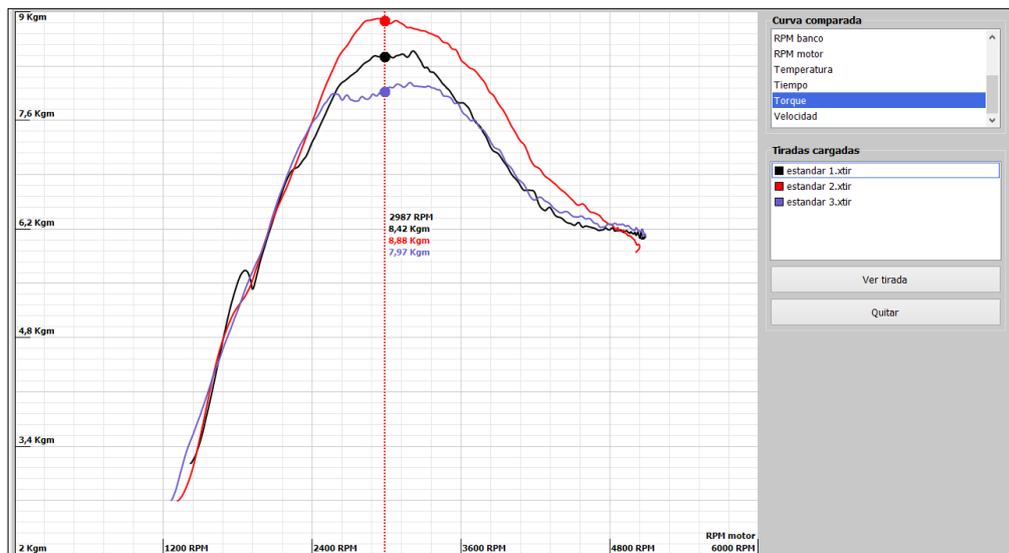


Figura 70 Curvas de torque a 10° estándar

c. Estándar a 15 grados

Tabla 13

Valores obtenidos en el dinamómetro a 15 grados

	Prueba de torque y potencia				
	kW	Potencia		Torque	
		Hp	Rpm	lb-ft	rpm
Prueba 1	39,9	53,5	4871	58,7	3133
Prueba 2	40,2	54	5085	58,6	3141
Prueba 3	40,4	54,2	3784	63,7	3238
Promedio	40,16	53,9		60,33	

Las figuras 71 y 72 revelan las comparaciones de las pruebas realizadas en el dinamómetro, potencia y torque, cuando el motor se encuentra estándar y el encendido está con un avance de 15°.

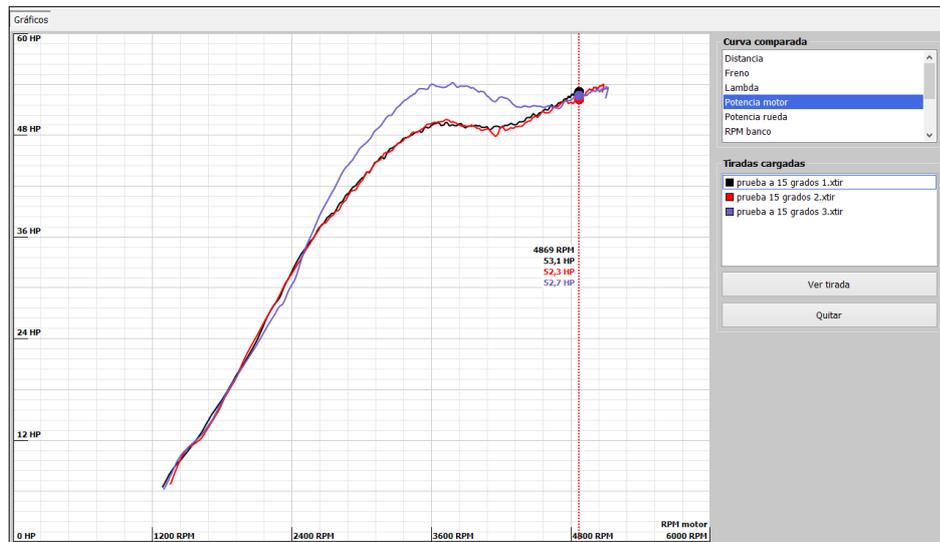


Figura 71 Curvas de potencia a 15° estándar

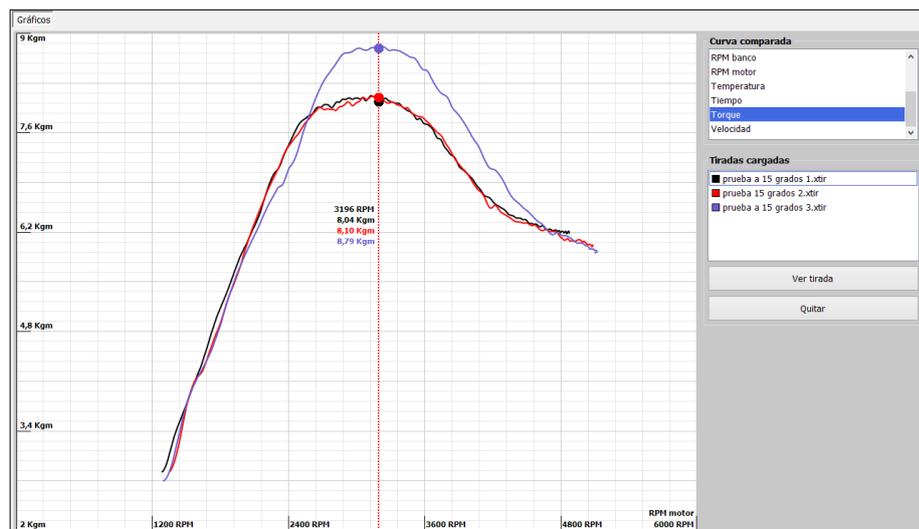


Figura 72 Curvas de torque a 15° estándar

d. Con el módulo a 5 grados

Tabla 14

Valores obtenidos en el dinamómetro con el módulo a 5 grados

	Prueba de torque y potencia				
	Potencia			Torque	
	kW	Hp	Rpm	lb-ft	rpm
Prueba 1	41,9	56,2	4890	68,3	3047
Prueba 2	40,9	54,9	3731	65,6	2901
Prueba 3	41,5	55,7	4753	64,8	2998
Promedio	41,43	55,6		66,23	

Las figuras 73 y 74 muestran las comparaciones de las curvas de potencia y torque, cuando el motor está con el módulo multichispa y el encendido se encuentra variado el avance a 5° .

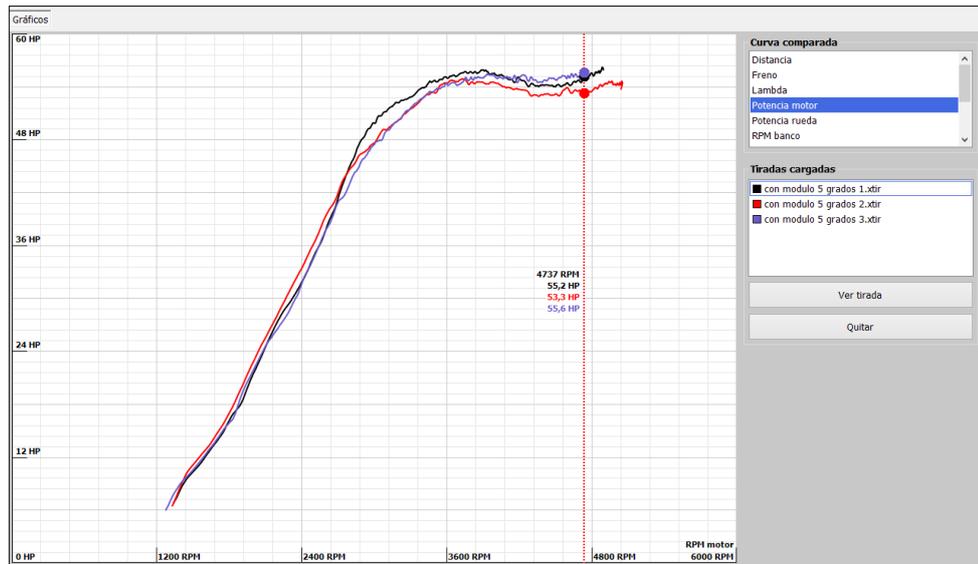


Figura 73 Curvas de potencia a 5° con el módulo

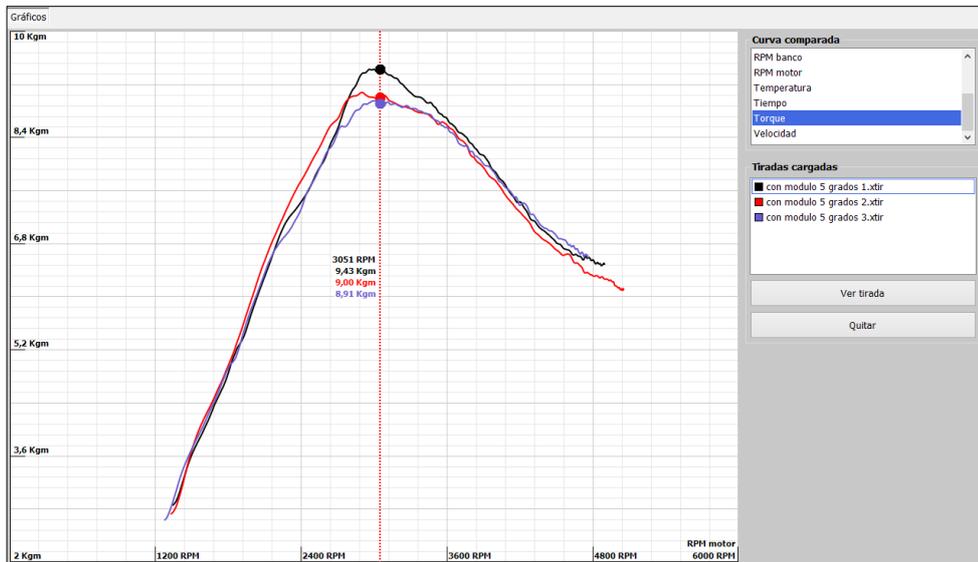


Figura 74 Curvas de torque a 5° con el módulo

e. Con el módulo a 10 grados

Tabla 15

Valores obtenidos en el dinamómetro con el módulo a 10 grados

	Prueba de torque y potencia				
	Potencia			Torque	
	kW	Hp	Rpm	lb-ft	rpm
Prueba 1	44	59,1	4983	67,8	3150
Prueba 2	43,9	58,9	5015	67,4	3071
Prueba 3	43,7	58,6	3733	69,8	3003
Promedio	43,87	58,87		68,33	

La figura 75 representa las comparaciones de potencia, de los datos .obtenidos en el dinamómetro, con el módulo instalado y con un avance al encendido de 10°.

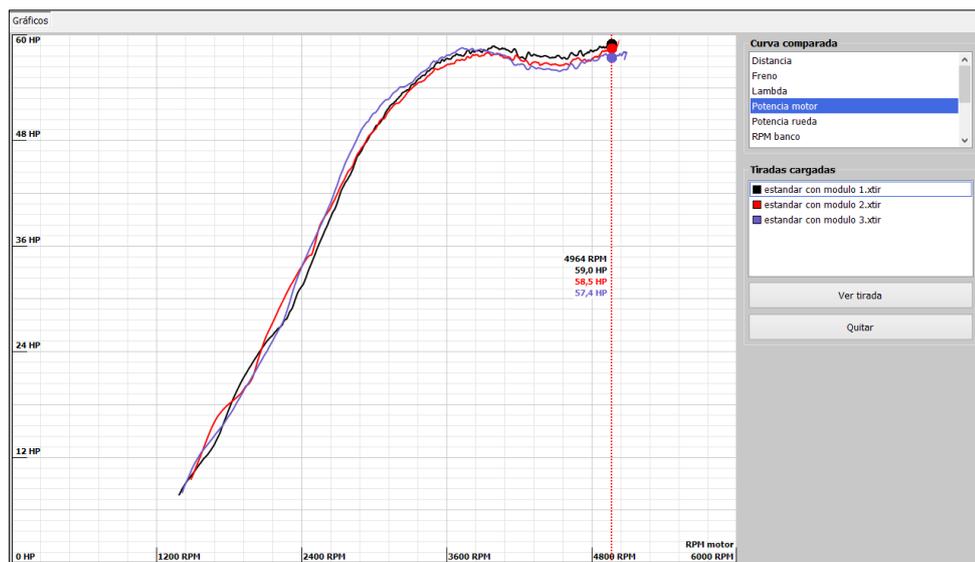


Figura 75 Curvas de potencia a 10° con el módulo

En la figura 76 se encuentran las curvas de torque cuando el módulo está instalado en el motor y con un avance al encendido de 10°.

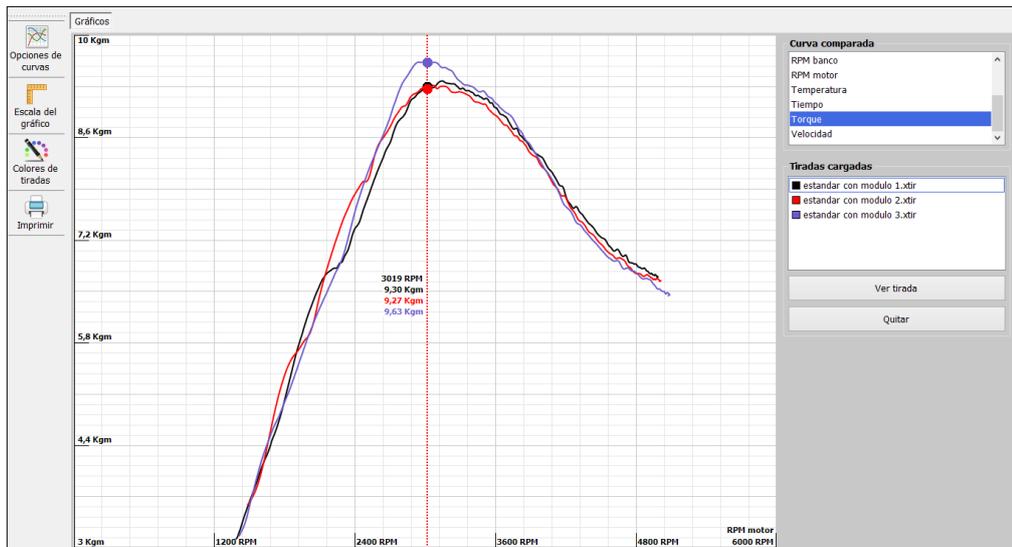


Figura 76 Curvas de torque a 10° con el módulo

f. Con el módulo a 15 grados

Tabla 16

Valores obtenidos en el dinamómetro con el módulo a 15 grados

	Prueba de torque y potencia				
	Potencia			Torque	
	kW	Hp	Rpm	lb-ft	rpm
Prueba 1	41,4	55,5	4970	65,4	2947
Prueba 2	42,2	56,6	4721	66,1	2893
Prueba 3	41,8	56,1	5028	65	3012
Promedio	41,8	56,06		65,5	

Las figuras 77 y 78 representan las comparaciones de las pruebas realizadas en el dinamómetro de potencia y torque cuando en el motor se encuentra instalado el módulo multichispa y el encendido está variado el avance a 15°.

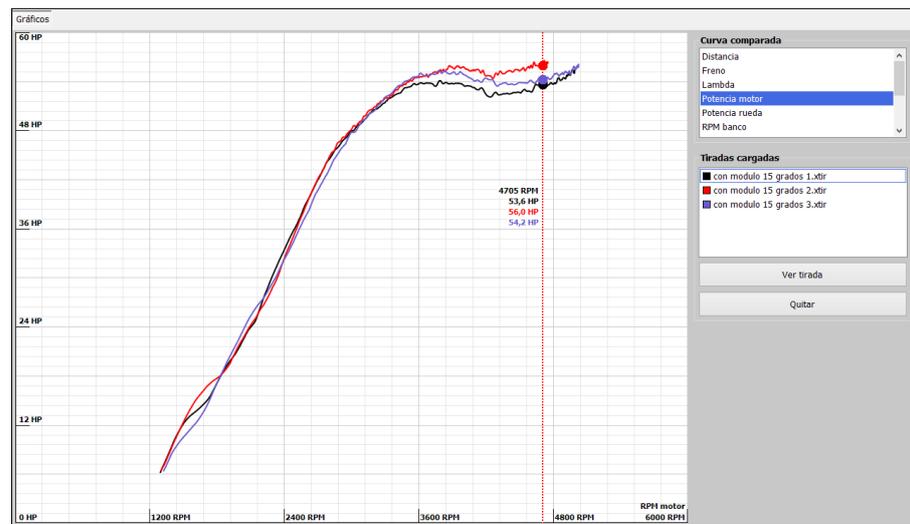


Figura 77 Curvas de potencia a 15° con el módulo

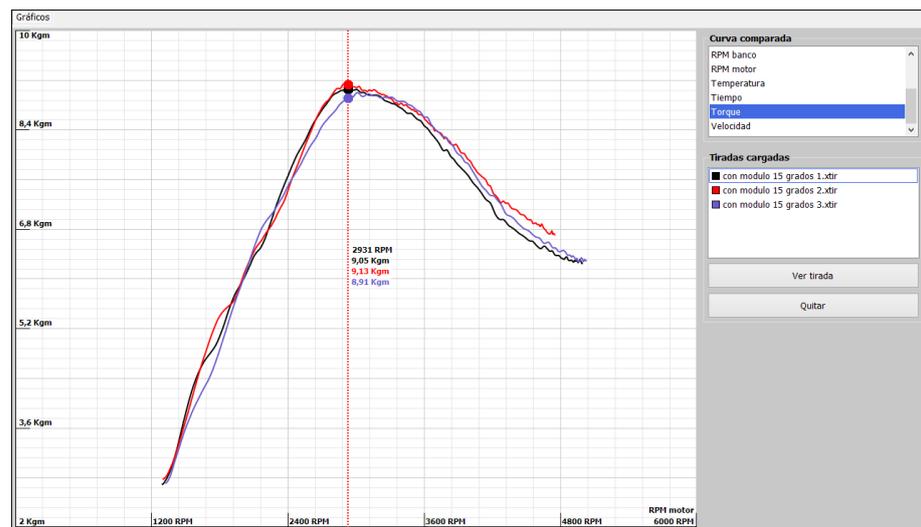


Figura 78 Curvas de torque a 15° con el módulo

4.1.2. Tabulación del análisis de gases de escape

Con el fin de comparar los resultados del analizador de gases AUTOplus KANE se realizó una tabla que contiene los datos cada una de las pruebas.

Tabla 17

Tabulación de las pruebas de análisis de gases de escape

Tabulación del análisis de gases				
	Ralentí			
	HC	CO	O2	CO2
Estándar 5°	433	3.43	0.98	11.4
Estándar 10°	402	3.07	0.90	11.1
Estándar 15°	421	3.28	0.93	11.3
Módulo 5°	420	3.25	0.88	10.6
Módulo 10°	384	2.86	0.79	10.4
Módulo 15°	405	3.09	0.85	10.5

En la figura 79 se observan los parámetros que se midieron durante la prueba de análisis de gases que son: hidruros de carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono y oxígeno.



Figura 79 Valores de análisis de gases

4.1.3. Tabulación de las pruebas de consumo de combustible

En la tabla 18 se muestran los resultados del consumo de combustible estándar y con el módulo, se utilizó el método gravimétrico de consumo de combustible.

Tabla 18

Tabulación de consumo de combustible

Tabulación de consumo de combustible			
	Masa (gr)	Tiempo (seg)	\dot{m}_f (gr/s)
Estándar 5°	79,8	21,51	3,71
Estándar 10°	81,2	22,16	3,66
Estándar 15°	84,4	22,81	3,7
Módulo 5 °	79,1	21,48	3,68
Módulo 10°	75,5	20,76	3,64
Módulo 15°	80,3	21,74	3,69

4.2. Análisis de resultados

Con la finalidad de obtener un criterio definido acerca de las prestaciones que nos da el módulo, se realizó el análisis de los datos de cada una de las pruebas.

4.2.1. Curvas de rendimiento

Tabla 19

Análisis de torque

Análisis de Torque		
	Estándar (lb-ft)	Módulo (lb-ft)
5°	59,9	66,23
10°	63,7	68,33
15°	60,33	65,5

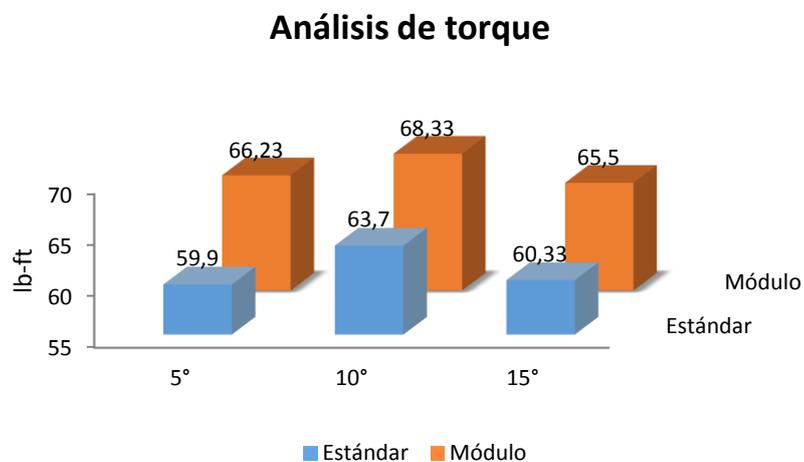


Figura 80 Análisis de Torque

En la figura 80, se presenta la medición realizada cuando se aplica 5° de avance de encendido y con el módulo multichispa a 5°, el torque aumenta de 59,9 lb-ft a 66,23 lb-ft respectivamente.

Si se compara cuando el motor de combustión interna se encuentra estándar 10° de avance de encendido y con el módulo a 10°, el torque aumenta de 63,7 lb-ft a 68,33 lb-ft respectivamente.

Finalmente cuando se ensaya el motor estándar 15° de avance de encendido y con el módulo a 15°, el torque aumenta de 60,33 lb-ft a 65,5 lb-ft respectivamente.

Tabla 20

Análisis de potencia en kW

Análisis Potencia		
	Estándar (kW)	Módulo (kW)
5°	39,6	41,43
10°	40,9	43,87
15°	40,16	41,8

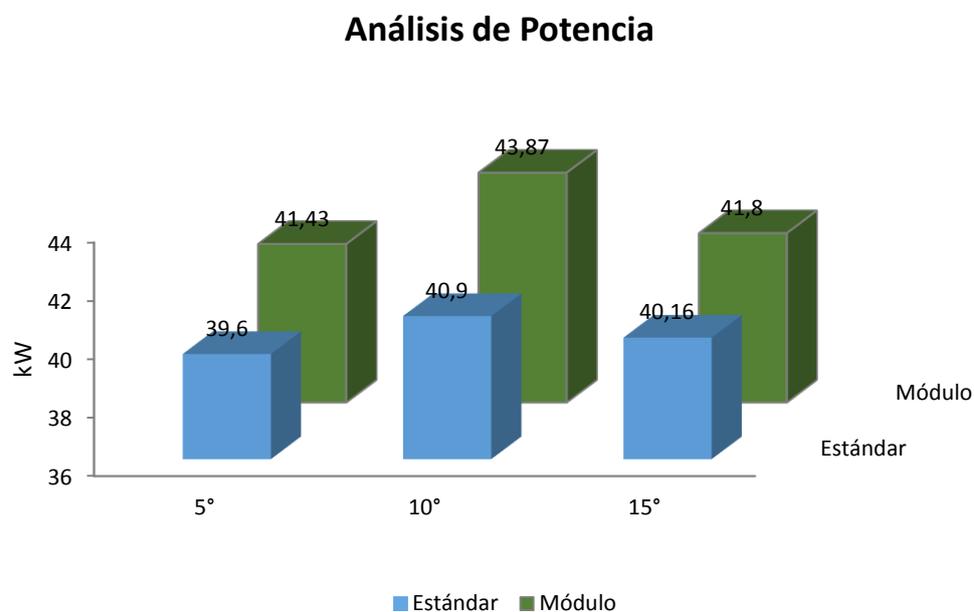


Figura 81 Análisis de potencia kW

En la figura 81, se muestra la medición realizada en el motor estándar y con el módulo multichispa al aplicar 5° de avance al encendido en ambos casos, teniendo como resultado que la potencia aumenta de 39,6 kW a 41,43 kW.

Al comparar la potencia en el motor de combustión interna sin modificaciones y con 10° de avance de encendido e instalado el módulo a 10°, la potencia aumenta de 40,9 kW a 43,87 kW.

Finalmente cuando se experimenta el motor estándar con un avance de encendido 15° y con el módulo a 15°, la potencia aumenta de 40,16 kW a 41,8 kW.

Tabla 21

Análisis de potencia en hp

Análisis Potencia		
	Estándar (hp)	Módulo (hp)
5°	53,13	55,6
10°	54,9	58,87
15°	53,9	56,06

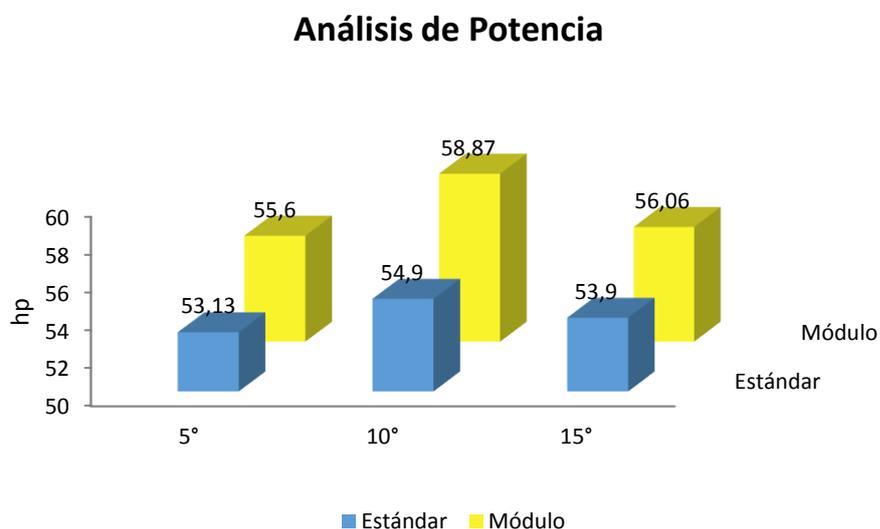


Figura 82 Análisis de potencia Hp

La figura 82, presenta la medición realizada en el motor estándar con un avance de encendido de 5° y con el módulo multichispa a 5°, la potencia aumenta de 533,13 hp a 55,6 hp.

Al comparar cuando el motor de combustión interna se encuentra a 10° de avance de encendido estándar y con el módulo a 10°, la potencia aumenta de 54,9 hp a 58,87 hp.

En el ensayo cuando el motor está estándar a 15° de avance de encendido y con el módulo a 15°, la potencia aumenta de 53,9 hp a 56,06 hp.

4.2.2. Análisis de gases de escape

Tabla 22

Análisis de gases de escape HC

Tabulación del análisis de gases HC	
Ralentí	
	HC
Estándar 5°	433
Estándar 10°	402
Estándar 15°	421
Módulo 5°	420
Módulo 10°	384
Módulo 15°	405

Análisis de gases hidrocarburos

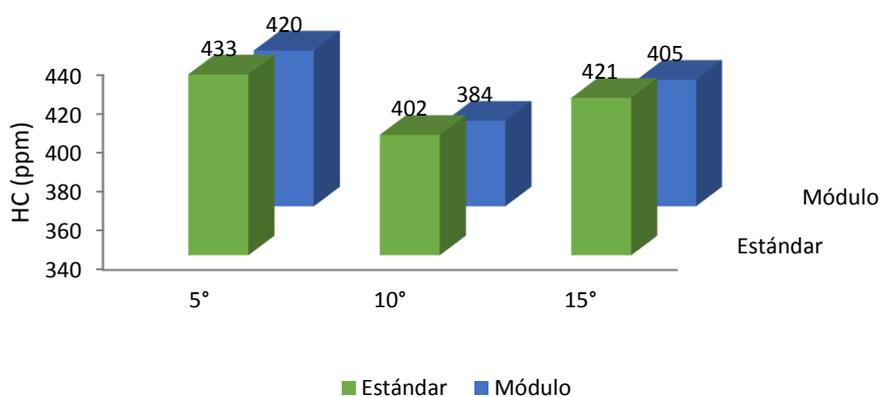


Figura 83 Análisis de gases de escape HC

En la figura 83, representa al motor cuando se aplica 5° de avance de encendido y con el módulo multichispa a 5°, los hidruros de carbono disminuyen de 433 ppm a 420 ppm.

Cuando el motor se encuentra estándar 10° de avance de encendido y con el módulo a 10°, los hidruros de carbono disminuyen de 402 ppm a 384 ppm.

Finalmente cuando se ensaya el motor estándar 15° de avance de encendido y con el módulo a 15°, los hidruros de carbono disminuyen de 421 ppm a 405 ppm respectivamente.

Tabla 23

Análisis de gases de escape CO

Tabulación del análisis de gases CO	
Ralentí	
	CO
Estándar 5°	3.43
Estándar 10°	3.07
Estándar 15°	3.28
Módulo 5°	3.25
Módulo 10°	2.86
Módulo 15°	3.09

Análisis de gases monóxido de carbono

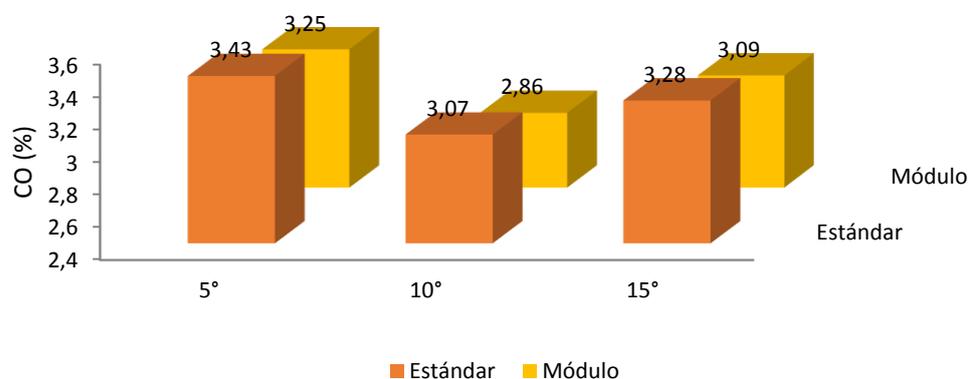


Figura 84 Análisis de gases de escape CO

En la figura 84, al motor estándar se le aplica 5° de avance de encendido y con el módulo multichispa a 5°, las emisiones de monóxido de carbono disminuyen de 3,43% a 3,25% respectivamente.

El motor estándar 10° de avance de encendido y con el módulo a 10°, las emisiones de monóxido de carbono disminuyen de 3,07% a 2,86% respectivamente.

Al emplear 15° de avance de encendido en el motor estándar y con el módulo a 15°, las emisiones de monóxido de carbono disminuyen de 3,28% a 3,09% respectivamente.

Tabla 24

Análisis de gases de escape O₂

Tabulación del análisis de gases O ₂	
Ralentí	
	O ₂
Estándar 5°	0.98
Estándar 10°	0.90
Estándar 15°	0.93
Módulo 5°	0.88
Módulo 10°	0.79
Módulo 15°	0.85

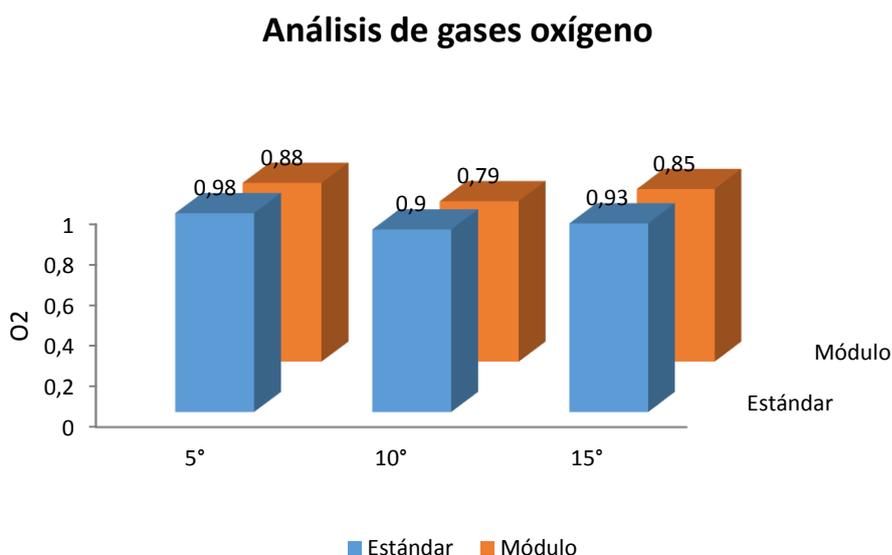


Figura 85 Análisis de gases de escape O₂

En la figura 85, se observa la medición realizada cuando se aplica 5° de avance de encendido estándar y con el módulo multichispa a 5°, las emisiones de oxígeno disminuyen de 0,98% a 0,88% respectivamente.

Al analizar el motor de combustión interna cuando se encuentra estándar y con el módulo a 10° de avance de encendido, las emisiones de oxígeno disminuyen de 0,9% a 0,79% respectivamente.

Cuando se experimenta el motor estándar y con el módulo a 15° de avance al encendido en los 2 casos, las emisiones de oxígeno disminuyen de 0,93% a 0,85% respectivamente.

Tabla 25

Análisis de gases de escape CO2

Tabulación del análisis de gases CO2	
Ralentí	
	CO2
Estándar 5°	11.4
Estándar 10°	11.1
Estándar 15°	11.3
Módulo 5°	10.6
Módulo 10°	10.4
Módulo 15°	10.5

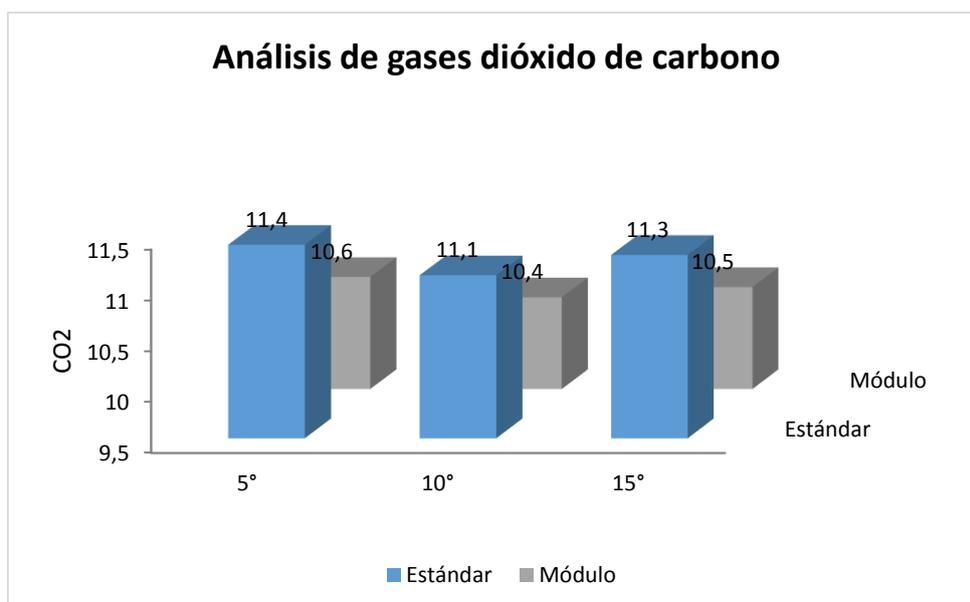


Figura 86 Análisis de gases de escape CO2

En la figura 86, se evidencia la medición realizada cuando el motor de combustión interna se encuentra con un avance al encendido de 5° estándar y con el módulo multichispa en las mismas condiciones, las emisiones de dióxido de carbono disminuyen de 11,4% a 10,6% respectivamente.

Al relacionar el motor de combustión interna cuando se encuentra estándar y con un avance al encendido de 10° y con el módulo a 10°, las emisiones de dióxido de carbono mejoran de 11,1% a 10,4% respectivamente.

Por último cuando se prueba el motor estándar y con el módulo a 15° de avance al encendido, las emisiones de dióxido de carbono reducen de 11,3% a 10,5% respectivamente.

4.2.3. Consumo de combustible

Análisis de consumo de combustible

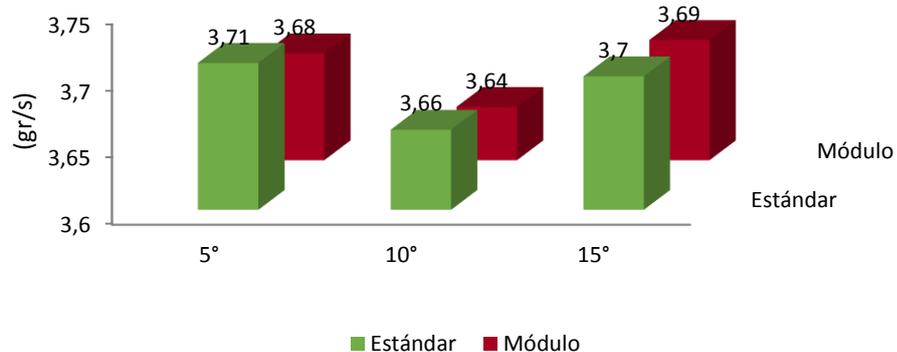


Figura 87 Análisis de consumo de combustible

En la figura 87, se presenta la medición realizada cuando se aplica 5° de avance de encendido y con el módulo multichispa a 5°, el consumo de combustible disminuye de 3,71gr/s a 3,68gr/s respectivamente.

Si se compara cuando el motor de combustión interna se encuentra estándar 10° de avance de encendido y con el módulo a 10° , el consumo de combustible disminuye de 3,66gr/s a 3,64gr/s respectivamente.

Finalmente cuando se ensaya el motor estándar 15° de avance de encendido y con el módulo a 15° , el consumo de combustible disminuye de 3,7gr/s a 3,9gr/s respectivamente.

4.3. Matematización de cálculos

Mediante la utilización de fórmulas matemáticas y datos técnicos del motor 146 A.ED Fiat, se procedió a calcular el torque, potencia y consumo de combustible específico.

4.3.1. Cálculo de potencia y consumo

Para el cálculo de torque y potencia se utilizó las condiciones atmosféricas de la ciudad de Latacunga (ver tabla 27) y los datos del motor 146 A.ED Fiat.

Tabla 26

Datos del motor 146 A.ED

Datos Motor			
Revoluciones	n	5700	rpm
Relación de compresión	ε	9.1	:1
Carrera	S	0.055	M
Longitud de biela	L	0,012	M
Diámetro de válvula	Dvalv	0,0308	M
Diámetro del pistón	Dpist	0,0863	M
Adelanto a la apertura del escape	AAE	37	$^\circ$
Cilindrada total	VH	1301	cm ³
Consumo indicado	Cind	4.72	l/h
Número de cilindros	I	4	

Fuente: (Strasman, 1996)

Tabla 27

Valores de interpolación

Valores para interpolar			
Altura	2743	2750	Msnm
Densidad del aire	0,08986	0,08794	Kg/m ³
Relación de compresión	6	9	:1
Coeficiente de gases residuales	0,06	0,1	
Variación de temperatura en el sistema	0	20	°C
Temperatura de gases residuales	900	1000	°K
Temperatura máxima del ciclo	2500	2700	°K
Coeficiente de gases residuales	0,06	0,1	
Exponente politrópico	1,23	1,30	
Resistencia al sistema de admisión	2,5	4	
Constante politrópica	1,30	1,37	

Fuente: (Jóvaj, 1982) y (Mena, 2011)

La velocidad máxima del pistón se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$Cp \text{ máx} = R\omega * \sqrt{1 + \lambda^2} = 16,9534 \frac{m}{s} \quad (15)$$

Ecuación 15 Velocidad máxima del pistón

Fuente: (Mena, 2011)

Para obtener la velocidad del aire en la sección del paso de la válvula se utiliza la ecuación 16.

$$Wad = \frac{Cp \text{ máx} * Fp}{fad} = 133,092 \text{ m/s} \quad (16)$$

Ecuación 16 Velocidad del aire en la sección del paso de la válvula

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Una vez calculada la velocidad máxima del pistón y la velocidad del aire del paso de la válvula se procede a calcular la presión al final de la admisión con la ecuación 17.

$$P_a = P_o - (\beta^2 \xi_{ad}) * \frac{W_{ad}^2}{2} * \rho_o * 10^{-6} = 0,06929 \text{ MPa} \quad (17)$$

Ecuación 17 Presión al final de la admisión

Fuente: (Jóvay, 1982)

Para el cálculo de la presión al final de la compresión se utiliza la ecuación 18.

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1-1} = 0,15767 \text{ MPa} \quad (18)$$

Ecuación 18 Presión al final de la compresión

Fuente: (Mena, 2011)

La temperatura durante la admisión se calcula mediante la ecuación 19.

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma_{res} * T_r}{1 + \gamma_{res}} = 614,6650 \text{ } ^\circ K \quad (19)$$

Ecuación 19 Temperatura de admisión

Fuente: (Jóvay, 1982)

Para obtener la temperatura de compresión se utiliza la ecuación 20.

$$T_c = T_a * \varepsilon^{(n_1-1)} = 1398,690419 \text{ } ^\circ K \quad (20)$$

Ecuación 20 Temperatura de compresión

Fuente: (Jóvay, 1982)

Una vez ya calculados todos los parámetros necesarios para obtener la presión al final del trabajo se aplica la ecuación 21.

$$P_z = \mu r * \frac{T_z}{T_c} * P_c = 0,263 \text{ MPa} \quad (21)$$

Ecuación 21 Presión al final del trabajo

Fuente: (Mena, 2011)

Calculado la presión al final del trabajo, que es la máxima presión que se genera, se puede obtener la máxima fuerza generada, multiplicando el área de la cara del pistón $F_p = 0,00584 \text{ m}^2$ y la presión al final del trabajo $P_z = 0,29278 \text{ MPa}$

$$F_{\text{máx}} = P_z * F_p * 10^6 = 1538,28 \text{ N} \quad (22)$$

Ecuación 22 Fuerza máxima

Fuente: (Jóvaj, 1982)

Calculado la máxima fuerza generada en el pistón se emplea la ecuación 23 para obtener el torque.

$$\tau = F_{\text{máx}} * S = 84,6 \text{ Nm} \quad (23)$$

Ecuación 23 Torque

Fuente: (Jóvaj, 1982)

La potencia se calcula con la ecuación 24.

$$P = \tau * \omega = 50005 \text{ W} = 50,05 \text{ kW} = 67,118 \text{ Hp} \quad (24)$$

Ecuación 24 Potencia

Fuente: (Rodríguez, 2012)

Tabla 28

Resumen de cálculos de torque y potencia

Resumen de cálculos			
Ord.	Variables	Resultados	
1	Radio de manivela	0,02775 m	
	Frecuencia de rotación del cigüeñal (ω)	596,9026 rad/s	$Cp \text{ máx} = 16,93 \text{ m/s}$
	Relación entre el radio de la manivela y la longitud de la biela (λ)	0,2178	
Área de la cabeza de la válvula de escape (f_{ad})	0,000745 m^2	$W_{ad} = 133,092 \text{ m/s}$	
2	Área de la cara del pistón (Fp)		0,0058494 m^2
	Velocidad máxima del pistón ($Cp \text{ máx.}$)		16,9534 m/s
3	Densidad del aire (ρ_o)	0,898 Kg/m^3	$Pa = 0,0692 \text{ MPa}$
	Coeficiente resistencia del aire ($\beta^2 \xi_{ad}$)	4,05	
	Velocidad del aire en la sección del paso de la válvula (W_{ad})	133,092 m/s	
4	Presión inicial (P_o)	0,1011 MPa	$Pc = 0,1576 \text{ MPa}$
	Constante politrópica interpolada ($n1$)	1,3723	
	Presión al final de la admisión (P_a)	0,0692 MPa	
5	Relación de compresión (ϵ)	9,1	$Ta = 614,660 \text{ }^\circ K$
	Temperatura del ambiente (T_o)	15 $^\circ C$	
	Variación de la temperatura en el ciclo (ΔT)	20,66 $^\circ C$	
6	Temperatura de gases quemados (T_r)	1003,333 $^\circ K$	$Tc = 1398,690 \text{ }^\circ K$
	Coeficiente (γ_{res})	0,1013333	
	Temperatura de admisión (T_a)	614,660 $^\circ K$	
7	Relación de compresión (ϵ)	9,1	$Pz = 0,263 \text{ MPa}$
	Constante politrópica interpolada ($n1$)	1,3723	
	Constante (μr)	1,08066	
8	Temperatura de compresión (T_c)	1398,690 $^\circ K$	$F_{máx} = 1538,28 \text{ N}$
	Temperatura máxima del ciclo (T_z)	2403,333 $^\circ K$	
	Presión al final de la compresión (P_c)	0,1576 MPa	
9	Área de la cara del pistón (Fp)	0,005849 m^2	$\tau = 84,6 \text{ Nm}$
	Presión al final del trabajo (P_z)	0,263 MPa	
10	Fuerza máxima ($F_{máx}$)	1538,28 N	$P = 50,05 \text{ kW}$
	Carrera (s)	0,055 m	
	Torque (τ)	84,6 N-m	
	Velocidad angular (ω)	596,9026 rad/s	

4.3.2. Cálculo del consumo específico de combustible

Para el cálculo del consumo específico de combustible se utilizan datos del motor de la tabla 26 y de la tabla 8 se obtiene el dato de consumo indicado 4,72 (l/h) para poder calcular el consumo teórico se utiliza la ecuación 25.

$$B = \text{Consumo indicado} * \delta_{\text{gasolina}} = 3,634 \text{ kg/h} \quad (25)$$

Ecuación 25 Consumo de combustible teórico

Fuente: (Mena, 2011)

El consumo específico indicado de combustible se deduce empleando la ecuación 26.

$$b_i = \frac{B * 3600}{N_i} = 0,26167 \frac{\text{kg}}{\text{kW} * \text{h}} \quad (26)$$

Ecuación 26 Consumo específico de combustible

Fuente: (Mena, 2011)

Tabla 29

Resumen de cálculos de consumo

Resumen de cálculos		
Ord.	Variables	Resultados
1	Consumo de combustible indicado (Cind)	4,72 l/h
	Densidad de la gasolina (δ_{gasolina})	0,77 kg/l
2	Consumo de combustible teórico (B)	3,634 kg/h
	Potencia efectiva del motor (Ne)	50 Kw
		$b_e = 0,26167 \frac{\text{kg}}{\text{kW} * \text{h}}$

4.3.3. Cálculo de rendimientos

Para el cálculo del rendimiento térmico se utiliza la siguiente fórmula:

$$\eta_t = \frac{N_e}{\dot{m}_f * H_c} = 0,269 = 26,9\% \quad (27)$$

Ecuación 27 Cálculo rendimiento térmico ideal

Fuente: (Sanz S, 2011)

Para determinar el rendimiento mecánico se emplea la siguiente ecuación:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} = 0,877 = 87,74\% \quad (28)$$

Ecuación 28 Cálculo rendimiento mecánico

Fuente: (Sanz S, 2011)

Una vez calculado el rendimiento mecánico se procede a calcular el rendimiento indicado con la siguiente ecuación:

$$\eta_i = \frac{\eta_t}{\eta_m} = 0,3065 = 30,66\% \quad (29)$$

Ecuación 29 Cálculo rendimiento indicado

Fuente: (Mena, 2011)

Tabla 30

Resumen de cálculos de rendimiento

Resumen de cálculos		
Ord.	Variables	Resultados
1	Potencia efectiva (Ne)	43,87 Kw
	Consumo másico de combustible (\dot{m}_f)	0,00364 kg/h
	Poder calorífico del combustible (Hc)	44799,97 kJ/kg
2	Potencia efectiva (Ne)	43,87 Kw
	Potencia indicada	50 Kw
3	Rendimiento térmico	0,269
	Rendimiento mecánico	0,087

4.4. Comparación entre valores calculados, indicados y experimentales

Para realizar una correcta comparación se debe considerar que el motor pierde potencia debido a la altura, esto afectará a la potencia calculada y a las potencias experimentales que se obtuvieron en la ciudad de Latacunga.

Tabla 31

Comparación de potencia

Comparación de potencia		
	kW	Hp
Indicado	50	67,05
Calculado	50,05	67,12
Estándar 5°	39,6	53,13
Estándar 10°	40,9	54,9
Estándar 15°	40,16	53,9
Módulo 5°	41,43	55,6
Módulo 10°	43,87	58,87
Módulo 15°	41,8	56,06

Comparación de potencia en kW

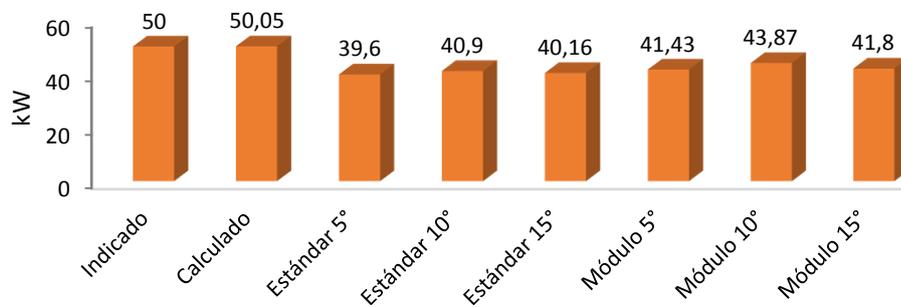


Figura 88 Comparación de potencia kW

En la figura 88 la comparación de potencia en kW, se observa que la potencia obtenida por medio de cálculos tiene una variación mínima de 0,05 kW en comparación con la potencia que consta en el manual del motor.

Comparación de potencia en hp

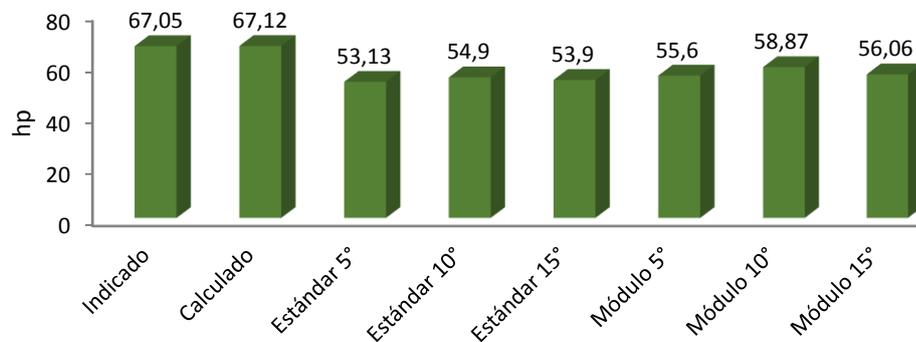


Figura 89 Comparación de potencia hp

En la figura 89 de comparación de potencia en hp, se observa que la potencia obtenida por medio de cálculos tiene una variación mínima de 0,07 hp en comparación con la potencia que consta en el manual del motor, la potencia que más se aproxima a la indicada es cuando el motor se encuentra con el módulo instalado y variado el avance de encendido a 10°

Tabla 32

Comparación de torque

	Comparación de torque	
	N-m	lbf-ft
Indicado	100	73,756
Calculado	84,6	62,398
Estándar 5°	81,213	59,9
Estándar 10°	86,365	63,7
Estándar 15°	81,796	60,33
Módulo 5°	89,796	66,23
Módulo 10°	92,64	68,33
Módulo 15°	88,806	65,5

Comparación de torque en Nm

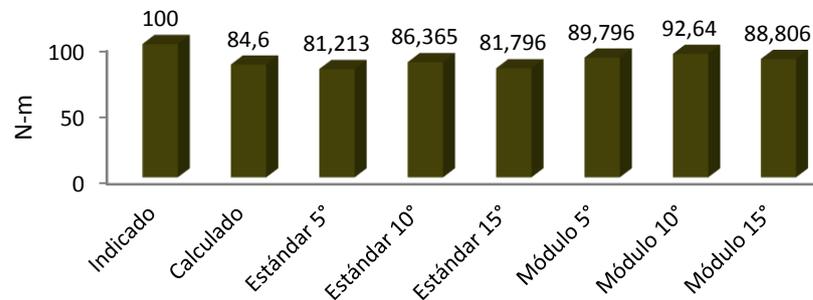


Figura 90 Comparación de torque en N-m

Comparación de torque en lbf.ft

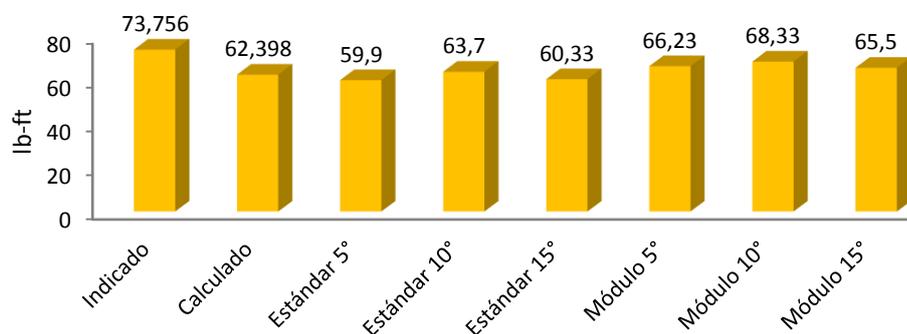


Figura 91 Comparación de torque en lbf-ft

En la figura 90 y 91, se puede observar que el torque indicado en el manual del motor es similar cuando está con el módulo y el avance del encendido se encuentra en 10°.

Para la comparación del consumo específico se dividió el gasto másico (gr/h) de combustible para la potencia efectiva (kW) obtenido en cada una de las pruebas dinámicas.

Tabla 33

Comparación de consumo específico de combustible

Comparación de consumo específico	
	$\frac{gr}{kW-h}$
Calculado	261,67
Estándar 5°	337,26
Estándar 10°	322,52
Estándar 15°	331,68
Módulo 5°	319,89
Módulo 10°	298,44
Módulo 15°	318,11

Comparación de consumo específico

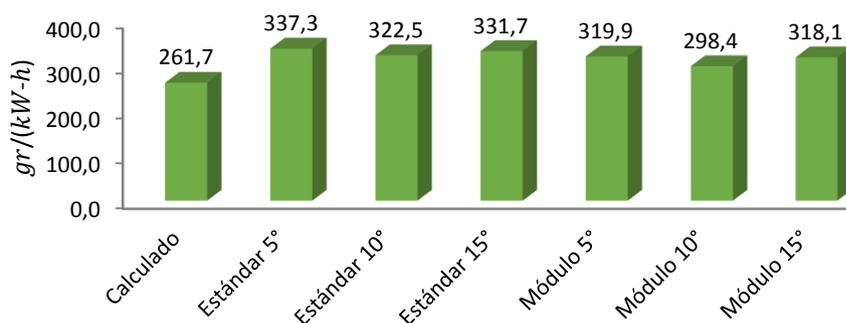


Figura 92 Comparación de consumo específico de combustible

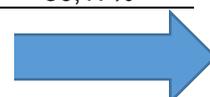
Como se muestra en la figura 92 el consumo específico de combustible aumenta a comparación del calculado, el menor consumo se registra cuando el vehículo se encentra variado el avance a 10° y con el módulo.

Tabla 34

Comparación de rendimientos

Comparación de rendimientos			
	Rendimiento térmico (η_t)	Rendimiento mecánico (η_m)	Rendimiento indicado (η_i)
Estándar 5°	23,83%	79,2%	30,09%
Estándar 10°	24,94%	81,8%	30,49%
Estándar 15°	24,23%	80,32%	30,17%

CONTINÚA



Módulo 5°	25,13%	82,86%	30,33%
Módulo 10°	26,9%	87,74%	30,87%
Módulo 15°	25,29%	83,6%	30,25%

En la tabla 34 se representan la comparación de rendimientos con diferentes grados de avance al encendido, al realizar las pruebas estándar y con el módulo de encendido multichispa, obteniendo el rendimiento térmico, mecánico e indicado más elevados cuando se utiliza el módulo con 10° de avance de encendido siendo de 26,9%, 87,74% y 30,87% respectivamente.

4.5. Comparación de valores porcentuales

Tabla 35

Comparación porcentual de la potencia

Comparación porcentual de potencia		
	kW y hp	
Indicado	100%	Variación
Calculado	100,1%	0,1%
Estándar 5°	79,20%	20,8%
Estándar 10°	81,8%	18,20%
Estándar 15°	80,32%	19,68%
Módulo 5°	82,86%	17,14%
Módulo 10°	87,74%	12,26%
Módulo 15°	83,60%	16,40%

En la tabla 35 se observa que existe una diferencia de 0,1% del valor indicado y calculado; la menor diferencia entre el valor indicado con los datos obtenidos en el dinamómetro es de 12,26% cuando el motor se encuentra con una variación de 10° de avance en el encendido y con el módulo.

Comparación porcentual de potencia

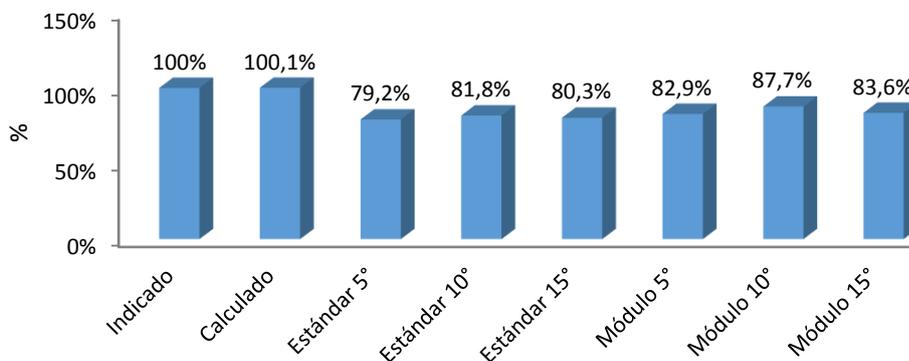


Figura 93 Comparación porcentual de potencia

La figura 93 muestra las gráficas de las comparaciones porcentuales de potencia de los diferentes valores obtenidos en las pruebas dinamométricas, el valor indicado en el manual del motor y el calculado; el dato que más se aproxima al indicado es cuando el motor se encuentra variado el avance a 10° y con el módulo multichispa.

Tabla 36

Comparación porcentual del torque

Comparación porcentual del torque		
N-m y lb-ft		
Indicado	100%	Variación
Calculado	84,6%	15,4%
Estándar 5°	81,21%	18,79%
Estándar 10°	86,36%	13,64%
Estándar 15°	81,79%	18,21%
Módulo 5°	89,79%	10,21%
Módulo 10°	92,64%	7,36%
Módulo 15°	88,80%	11,2%

En la tabla 36 se observa que existe una diferencia de 15,4% del valor indicado y calculado; la menor diferencia entre el valor indicado con los datos obtenidos en el dinamómetro es de 7,36% cuando el motor se encuentra con una variación de 10° de avance en el encendido y con el módulo.

Comparación porcentual de torque

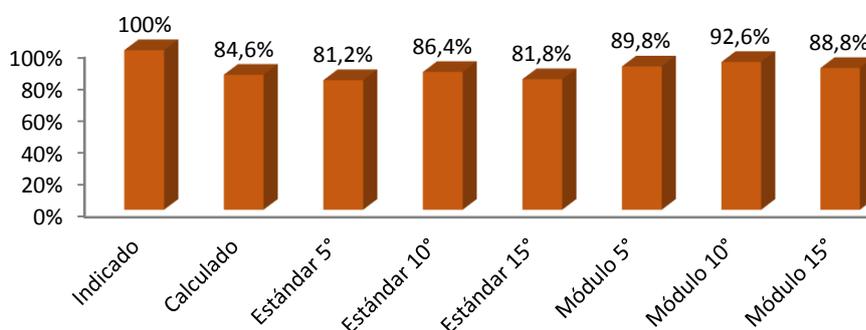


Figura 94 Comparación porcentual de torque

La figura 94 muestra las gráficas de las comparaciones porcentuales de torque de los diferentes valores obtenidos en las pruebas dinamométricas, el valor indicado en el manual del motor y el calculado, el dato que más se aproxima al indicado es cuando el motor se encuentra variado el avance a 10° y con el módulo multichispa.

Tabla 37

Comparación porcentual de consumo

Comparación porcentual del consumo		
	$\frac{gr}{kW * h}$	
Calculado	100%	Variación
Estándar 5°	128,88%	28,88%
Estándar 10°	123,25%	23,25%
Estándar 15°	126,75%	26,75%
Módulo 5°	122,25%	22,25%
Módulo 10°	114,05%	14,05%
Módulo 15°	121,57%	21,57%

En la tabla 37 se observa el menor aumento de consumo de combustible es cuando el motor se encuentra con una variación de 10° de avance en el encendido y con el módulo es de 14,05%.

Comparación porcentual de consumo

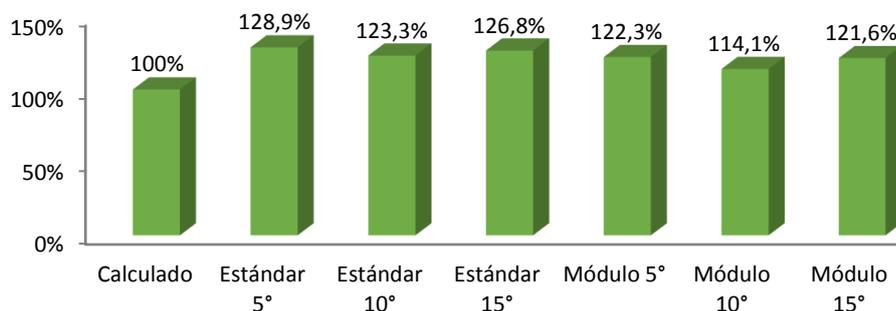


Figura 95 Comparación porcentual de consumo

La figura 95 muestra las comparaciones porcentuales de consumo de combustible, el dato que más se aproxima al calculado es cuando el motor se encuentra variado el avance a 10° y con el módulo multichispa.

Tabla 38

Comparación porcentual de emisiones

	HC		CO		O ₂		CO ₂	
	Estándar	Módulo	Estándar	Módulo	Estándar	Módulo	Estándar	Módulo
5°	100%	97%	94,75%	94,75%	89,8%	89,8%	93%	93%
10°	100%	95,50%	93,16%	93,16%	87,8%	87,8%	93,7%	93,7%
15°	100%	96,20%	94,21%	94,21%	91,4%	91,4%	92,9%	92,9%

El cuadro 36, presenta la comparación realizada cuando se aplica 5° de avance de encendido y con el módulo multichispa a 5°, las emisiones de hidruros de carbono se reducen en un 3%, las emisiones de monóxido de

carbono se reducen en un 5,25%, las emisiones de oxígeno se reduce en 10,1% y las de dióxido de carbono en 7%.

Cuando se compara el motor estándar 10° de avance de encendido y con el módulo a 10°, las emisiones de hidruros de carbono se reducen en un 4,5%, las emisiones de monóxido de carbono se reducen en un 6,84%, las emisiones de oxígeno se reduce en 12,2% y las de dióxido de carbono en 6,3%.

Finalmente, el motor estándar con 15° de avance de encendido y con el módulo a 15°, las emisiones de hidruros de carbono se reducen en un 3,8%, las emisiones de monóxido de carbono se reducen en un 5,8%, las emisiones de oxígeno se reduce en 8,6% y las de dióxido de carbono en 7,1%

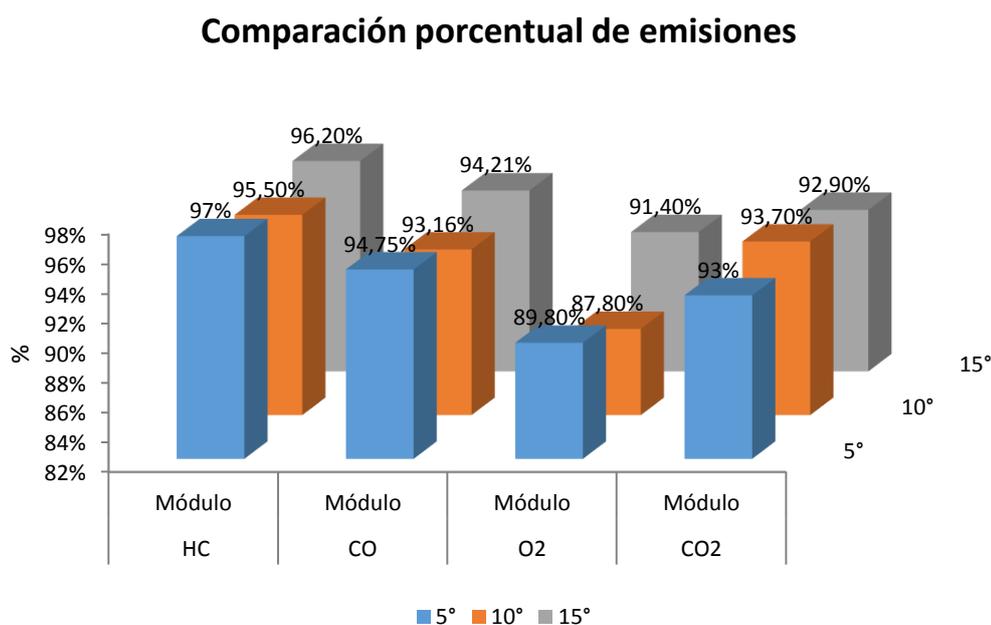


Figura 96 Comparación porcentual de emisiones de gases

La figura 96 muestra las gráficas de las comparaciones porcentuales de emisiones, con los diferentes valores obtenidos en las pruebas de análisis de gases de escape.

4.6. Comparación de oscilogramas del primario y secundario

En las siguientes imágenes se pueden observar los oscilogramas del circuito primario y secundario del encendido, cuando el motor se encuentra estándar y con módulo de encendido multichispa.

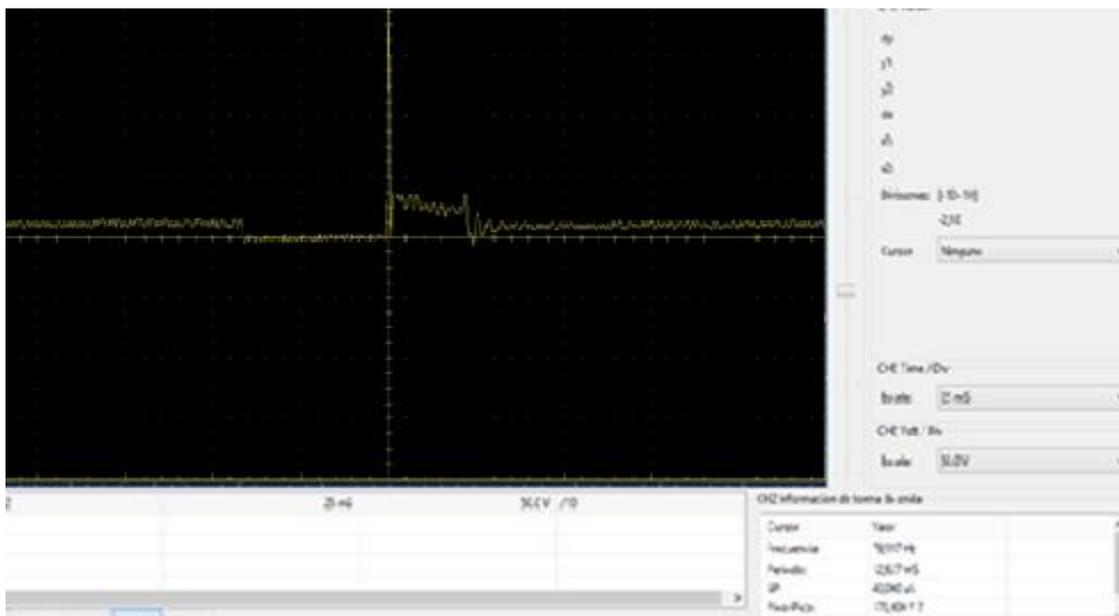


Figura 97 Oscilograma primario estándar

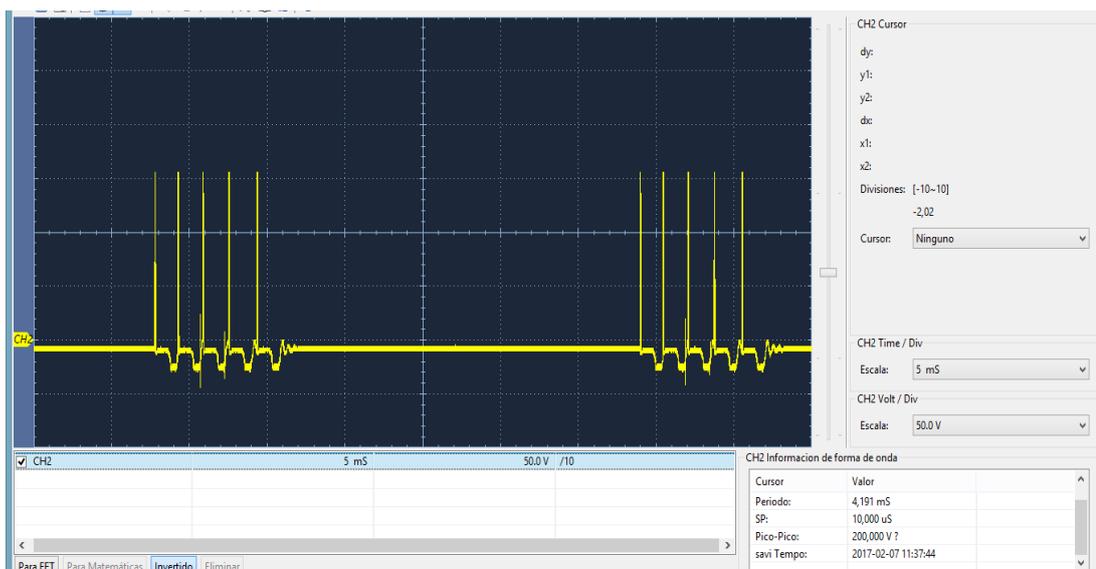


Figura 98 Oscilograma primario con módulo

En las figuras 97 y 98 se observan los oscilogramas del circuito primario cuando se encuentra estándar y con módulo respectivamente, la diferencia es las múltiples chispas que se generan cuando el motor se encuentra con el módulo, el tiempo de quemado es similar en ambos casos, pero con el módulo las realiza sucesivamente.

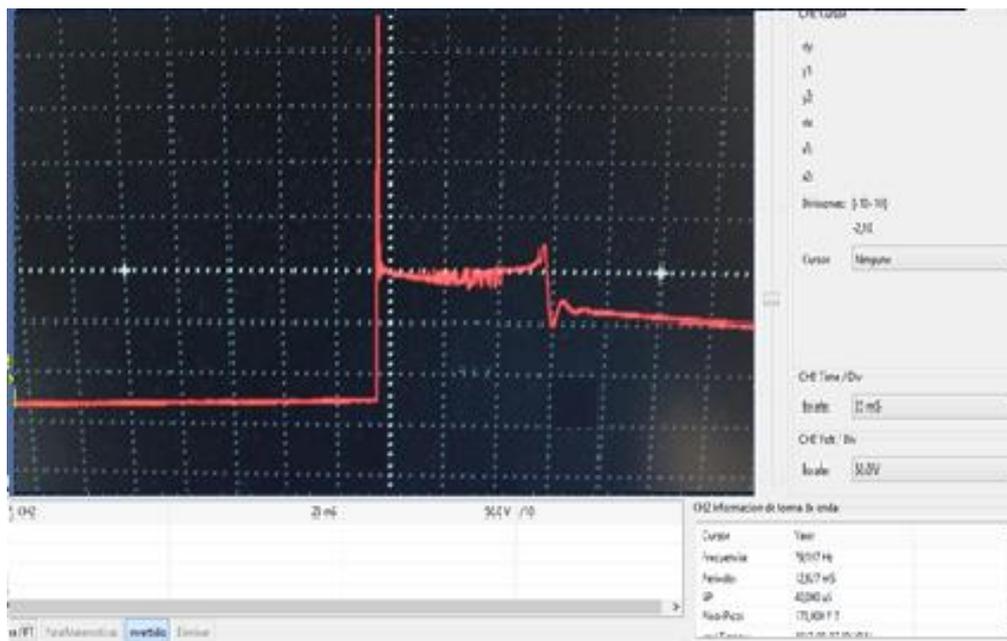


Figura 99 Oscilograma secundario estándar

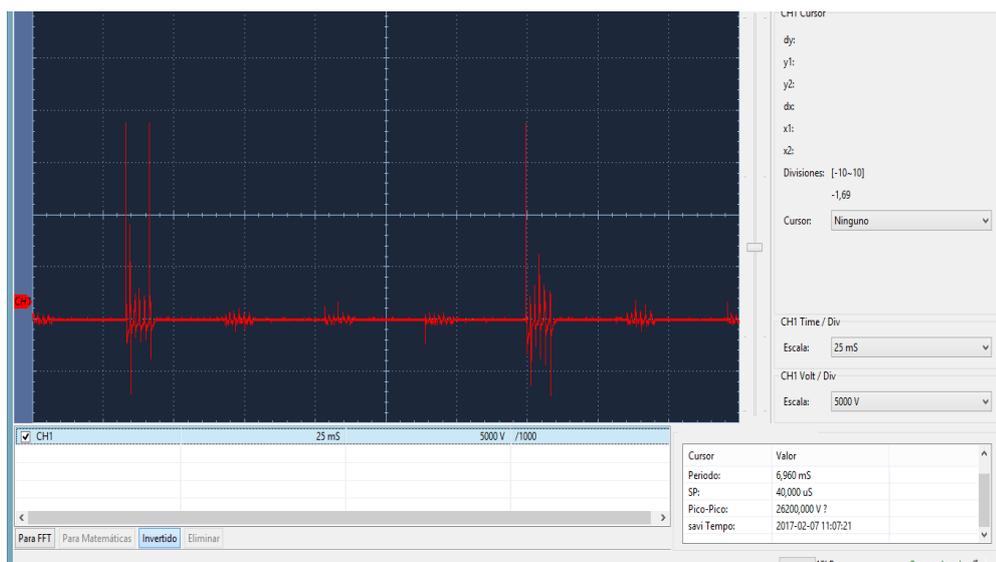


Figura 100 Oscilograma secundario con módulo

En las figuras 99 y 100 se observan los oscilogramas del circuito secundario cuando se encuentra estándar y con módulo respectivamente, la diferencia es las múltiples chispas que se generan cuando el motor se encuentra con el módulo, el voltaje en el circuito secundario es mayor ya que se cambió la bobina.

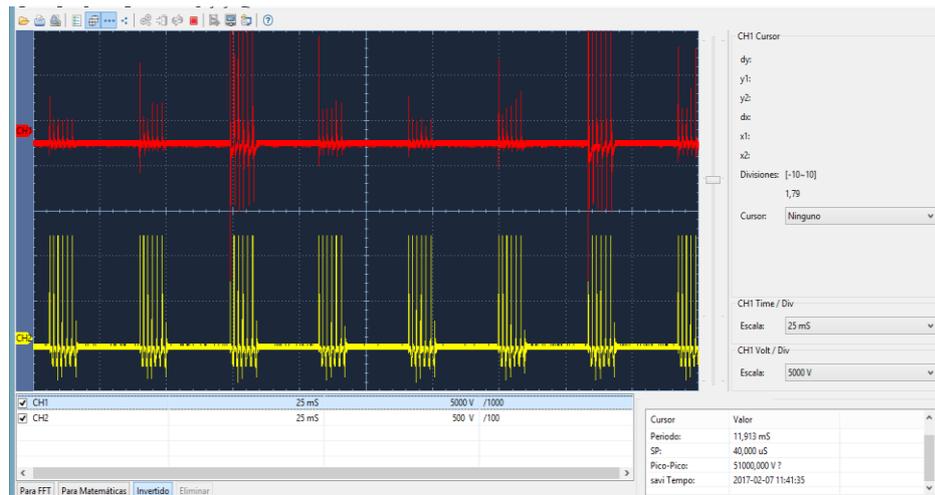


Figura 101 Oscilograma primario y secundario

En la figura 101 se observa los oscilogramas del primario y del secundario, se evidencia las múltiples chispas que existe en los cilindros del motor.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

Los aspectos económicos y administrativos del proyecto de investigación establecen las medidas necesarias relacionadas con la posibilidad de los recursos y la factibilidad de los mismos.

5.1. Factibilidad de la investigación

Para la elaboración del proyecto los recursos humanos y materiales son fundamentales para llegar a cumplir las metas del mismo. De tal manera es primordial realizar el presupuesto tomando en cuenta todos estos parámetros.

5.2. Recursos

5.2.1. Recursos humanos

El personal de apoyo para la investigación está integrado por Esteban Tovar y Luis Trujillo con el asesoramiento del Ingeniero Germán Erazo e Ingeniero Luis Mena

Tabla 39

Recursos humanos

	Esteban Tovar
	Luis Trujillo
Grupo de investigación	German Erazo
	Luis Mena

5.2.2. Recursos físicos

Estos recursos son de mucha importancia ya que de estos dependen el desarrollo práctico y teórico de la investigación, se debe presentar lugares seguros para realizar las mediciones y obtener los datos más precisos.

Tabla 40

Recursos físicos

Recursos físicos	
Desarrollo práctico	Laboratorio de motores de la Universidad de las Fuerzas armadas ESPE-L Extensión Latacunga.
Desarrollo teórico	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L Extensión Latacunga Domicilio investigadores

5.2.3. Recursos materiales

Para ejecutar el proyecto y llegar a obtener el objetivo principal de la investigación es necesario el uso de materiales físicos indispensables que se utilizan durante la elaboración del proyecto y se muestra en la tabla 41.

Tabla 41

Recursos materiales

Recursos Materiales					
Ord	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Módulo de encendido multichispa	1	Unidad	300	300
2	Bobina de encendido	1	Unidad	100	100
3	Cable	10	Metros	0.5	5
4	Conectores	20	Unidad	0.4	8
5	Multímetro	1	Unidad	30	30
6	Caja de herramientas	1	Unidad	150	150
7	Pistola Estroboscópica	1	Unidad	100	100
8	Osciloscopio OWON PDS5022T	1	Unidad	50	50
9	Analizador de gases AUTOplus KANE	1	Unidad	60	60
10	Dinamómetro MOTORROLL	1	Unidad	80	80
11	Instalación	1	Unidad	60	60
12	Combustible	30	Galones	1.5	45

CONTINÚA



13	Calculadora	1	Unidad	15	15
14	Impresiones	500	Unidad	0.05	25
15	Resma de papel	1	Unidad	6	6
16	Mantenimiento del vehículo	1	Unidad	50	50
				Total	1084

5.2.4. Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos son los materiales y equipos que facilitaron la elaboración de la investigación y la realización de las diferentes pruebas que nos permitió cumplir con los objetivos y metas planteadas.

Los recursos tecnológicos utilizados se detallan a continuación:

Tabla 42

Recursos tecnológicos

Software BLAHA	Control de la prueba de Torque y Potencia
Software AUTOplus KANE	Control de la prueba de análisis de gases
Microsoft Word /Excel	Producción escrito /Tabulación

Tabla 43

Costos recursos tecnológicos

Recursos Tecnológicos					
Ord	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Software BLAHA	1	Unidad	50	50
2	Software AUTOplus KANE	1	Unidad	20	20
3	Microsoft Word/Excel	1	Unidad	100	100
				Total	170

5.3. Presupuesto del proyecto

Para realizar este tipo de investigación se calculó los diferentes gastos materiales y tecnológicos por separado para poder saber así el gasto total del proyecto

Tabla 44**Presupuesto del proyecto**

Gasto total del proyecto		
Ord	Descripción	Costo Total
1	Recursos Tecnológicos	170
2	Recursos Materiales	1084
Total		1254

5.4. Análisis de costo del proyecto

Antes de realizar el presente proyecto se ejecutó la revisión y mantenimiento del sistema de encendido del vehículo, además se adquirió equipo que facilitó la realización de las pruebas y la toma de datos, gastos que fueron financiados por los señores Esteban Tovar y Luis Trujillo.

5.5. Análisis del costo beneficio

En relación al costo beneficio se puede evidenciar tres beneficios directos obtenidos tras la ejecución de este proyecto, el primero, el beneficio personal, el conocimiento adquirido por parte del equipo investigador, el segundo beneficio es para los estudiantes que ahora cuentan con un aporte académico que servirá como base para fuente de consulta de futuras investigaciones, prácticas de laboratorio, y el tercero servirá para concientizar a la sociedad que al utilizar el módulo de encendido se pueden eliminar emisiones contaminantes que contribuye con la polución del planeta además del aumento de torque y potencia, por lo que los gastos resultan justificados.

5.6. Cronograma

En la figura 102, se detalla las actividades realizadas a lo largo del proyecto de investigación hasta su finalización.

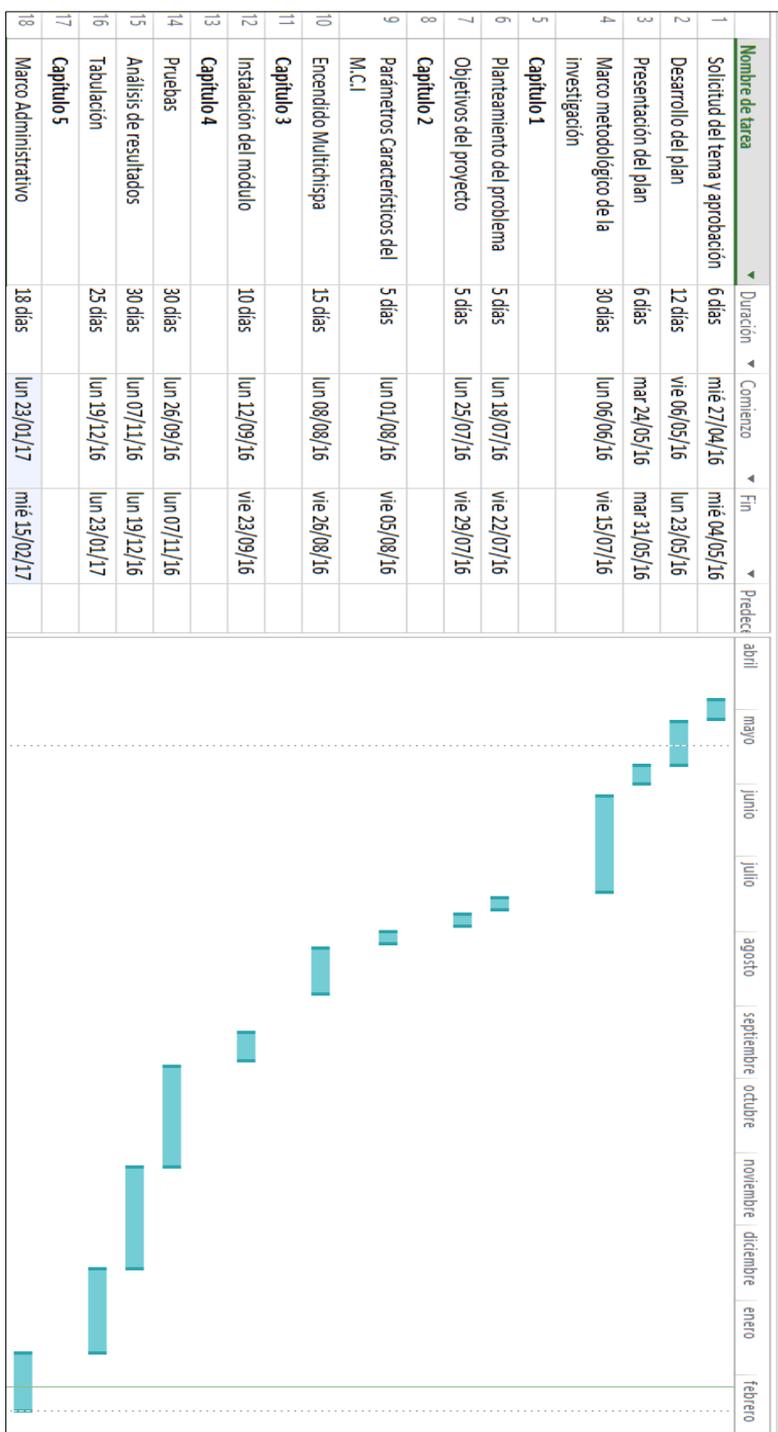


Figura 102 Cronograma de actividades

CONCLUSIONES

- El módulo de encendido multichispa Street Fire está instalado con el fin de investigar la influencia en el rendimiento del motor 146 A.ED, los parámetros característicos torque, potencia, consumo específico de combustible y el análisis de gases. El módulo está diseñado para adaptarse al motor del vehículo FIAT MILLE mediante la conexión al distribuidor y la bobina de encendido.
- Se determinaron los parámetros característicos de torque, potencia y consumo de combustible sin alterar la condición original del motor 146 A.ED en el dinamómetro de rodillos.
- Se instaló el módulo de encendido multichispa Street Fire en el motor del vehículo FIAT MILLE siguiendo cada uno de los pasos para la instalación del dispositivo, con el fin de obtener los nuevos parámetros característicos del motor en las diferentes pruebas.
- Los resultados obtenidos después de las pruebas dinamométricas sin el uso del módulo de encendido multichispa nos indica que disminuye la potencia y el torque con un avance al encendido de 5° y 15° a comparación cuando el avance se encuentra a 10°.
- El valor más alto de potencia y torque es cuando el motor se encuentra con el módulo multichispa instalado y el encendido variado a 10°
- Las pruebas con el módulo de encendido multichispa instalado nos dieron como resultado el aumento de potencia y torque de 6,77% en comparación con el modulo original.
- El consumo específico de combustible aumenta a comparación del calculado, el menor consumo se registra cuando el motor está variado el avance a 10° y con el módulo multichispa, disminuyendo 7,46% con respecto al estándar.

- Las mayor reducción de emisiones contaminantes se registraron cuando el motor se encuentra con el módulo multichispa y variado el avance a 10° , los hidruros de carbono disminuyeron en un 4,5%, las emisiones de monóxido de carbono se reducen en un 6,84%, las emisiones de oxígeno se reduce en 12,2% y las de dióxido de carbono en 6,3%.
- Al comparar los oscilogramas del circuito primario y secundario con el motor estándar hay una sola chipa por cada dos vueltas del cigüeñal y con el modulo instalado genera de 5 a 6 chipas en el mismo ciclo.

RECOMENDACIONES

- Conocer el diagrama de instalación del módulo de encendido multichispa ya que si no se conoce se podría quemar o no funcionar de manera adecuada en el motor.
- El motor del vehículo se debe encontrar en perfectas condiciones de funcionamiento para lo cual antes de realizar las pruebas se deben efectuar los diferentes mantenimientos y revisiones para que no existan fallas o valores erróneos en los ensayos.
- Calibrar el dinamómetro de la mejor manera para poder obtener resultados más exactos en las diferentes pruebas.
- Para que los resultados sean más exactos en las pruebas dinamométricas la conducción debe ser efectuado por el mismo piloto.
- Durante las pruebas de análisis de gases se debe mantener el motor en temperatura óptima de funcionamiento para que los resultados obtenidos sean los correctos.

- Las medidas de seguridad personal debe ser un parámetro muy importante desde la instalación del dispositivo hasta la realización de las pruebas para que no existan posibles accidentes.
- Durante la obtención de los oscilogramas se debe conocer donde colocar las puntas del osciloscopio ya que si se coloca de manera inadecuada las curvas pueden resultar erróneas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso J. (2010). *Técnicas del Automóvil CHASIS*. Madrid: Paraninfo.
- Alonso J. (2014). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Madrid : Paraninfo.
- Arias, M. (2004). *Manual de Automóviles*. Madrid: Dossat.
- Bauer, H., & Ortmann, R. (2003). *Técnica de gases de escape para motores gasolina*. Plochingen: Bosch.
- Bosch R. (1999). *Manual de la técnica del automóvil*. Barcelona: Reverté.
- Bosch R. (2002). *Gestión del motor de gasolina: fundamentos y componentes*. Stuttgart: Bosch.
- Bosch R. (2002). *Sistemas de encendido*. Stuttgart: Bosch.
- Bosch R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Stuttgart: R. Bosch.
- Calvo, & Miravete. (1997). *Mecánica del Automóvil*. México, D.F.: Universidad de Zaragoza, Servicio de publicaciones, Centro Politécnico Superior.
- Crouse, W. (1993). *Mecánica del automóvil*. Barcelona: Marcombo S.A.
- De Castro M. (1997). *Nueva Enciclopedia del Automóvil*. España: Grupo Editorial CEAC, S.A.
- González D. (2015). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Madrid: Paraninfo.
- González, D. (2012). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo.
- Jójvaj, M. (1982). *Motores del automóvil*. Moscú: MIR.
- López, E., & Benito, V. (2014). *Motores Térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Editex.
- López, E., & Benito, V. (2014). *Motores Térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Editex.
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión interna Diesel-Gasolina*. Quito: Nueva Aurora.
- Pardiñas J. (2012). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Editex.

- Pérez, M. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Riú, A. (1981). *Enciclopedia del automóvil*. Buenos Aires: Mundo Técnico.
- Rodríguez, J. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. Málaga: IC Editorial.
- Rovira, & Muñoz. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Sanz S. (2011). *Motores*. Madrid: Editex.
- Strasman, P. (1996). *Fiat Uno service and repair manual*. Sparkford: Haynes.

NETGRAFÍA

- Autoavance. *OSCILOSCOPIO AUTOMOTRIZ OTC 3840F*. Recuperado el 27 de 1 de 2017, de: <http://www.autoavance.co/equipos-diagnostico-automotriz/osciloscopio-automotriz-otc-3840f>
- E-Auto. *E-auto*. Recuperado el 3 de 1 de 2017, de: [E-auto.com.mx](http://www.e-auto.com.mx)
- G. Artés, D. *Tecmovia*. Recuperado el 26 de 11 de 2016, de: <http://www.diarimotor.com/tecmovia/2012/10/02/los-limites-de-la-eficiencia-termica-en-motores-gasolina-y-diesel/>
- Ingeniería y solución automotriz. *Osciloscopio Automotriz*. Recuperado el 11 de 1 de 2016, de: <http://www.solucionautomotriz.com/equipos-automotrices/osciloscopio-automotriz>
- Kane. *Kane International Ltd*. Recuperado el 4 de 1 de 2017, de: <https://www.kane.co.uk/products/auto-plus-4-2-automotive-exhaust-gas-analyser>
- Mays, E. *Conocimientos Básicos del Automóvil*. Recuperado el 14 de 9 de 2016, de: <http://www.automotriz.net/tecnica/conocimientos-basicos-15.html>
- MOTORROLL. *MOTORROLL*. Recuperado el 3 de 1 de 2017, de: <http://www.motorroll.com>

- MSD Performance. *MSD Performance*. Recuperado el 6 de 9 de 2016, de: <https://www.msperformance.com>
- NGK. *Bobinas de Encendido*. Recuperado el 30 de 1 de 2017, de: <https://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/bobinas-de-encendido/estructura-de-una-bobina-de-encendido/>
- Pico. *Picoauto*. Recuperado el 3 de 1 de 2017, de: <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/primary-voltage>
- Rodríguez, H.;. Recuperado el 4 de 10 de 2016, de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>
- SPEEDWAY MOTORS. *SPEEDWAY MOTORS*. Recuperado el 22 de 9 de 2016, de: <http://www.speedwaymotors.com/MSD-5520-Street-Fire-CDI-Ignition,9885.html>

NORMAS

- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2008). INEN 017:2008, CONTROL DE EMISIONES CONTAMINANTES DE FUENTES MÓVILES TERRESTRES. Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2000). NTE INEN 2203:2000, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O “RALENTÍ”. PRUEBA ESTÁTICA. Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2002). NTE INEN 2204:2002, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA. Ecuador.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores,
ESTEBAN RODRIGO TOVAR CÁRDENAS y **LUIS FERNANDO TRUJILLO CADENA**.

En la ciudad de Latacunga a los: **22 días del mes de febrero del 2017.**

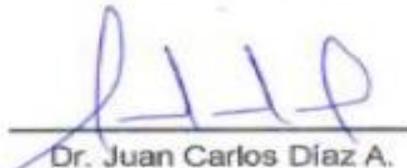


Ing. Germán Erazo
Director del Proyecto

Aprobado por:



Ing. DANILO ZAMBRANO
DIRECTOR DE LA CARRERA



Dr. Juan Carlos Díaz A.
Secretario Académico