



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS  
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ DEL  
VEHÍCULO VOLKSWAGEN GOL A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN  
DE LOS TIEMPOS DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS  
TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO**

**AUTORES: JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA  
VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO**

**DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO LAVERDE**

**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, “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ DEL VEHÍCULO VOLKSWAGEN GOL A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DE LOS TIEMPOS DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO” realizado por los señores JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA y VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO, 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 JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA y VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 13 de febrero del 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Germán Éraza'.

Ing. Germán Éraza

**DIRECTOR**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

### DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA, con cédula de identidad N° 1725978587 y VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO, con cédula de identidad N° 1721122487, declaramos que este trabajo de titulación “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ DEL VEHÍCULO VOLKSWAGEN GOL A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DE LOS TIEMPOS DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO” 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, 13 de febrero del 2017

JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA  
C.C: 1725978587

VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO  
C.C: 1721122487



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros *JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA* y *VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ DEL VEHÍCULO VOLKSWAGEN GOL A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DE LOS TIEMPOS DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 13 de febrero del 2017



JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA

**JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA**

**C.C: 1725978587**



VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO

**VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO**

**C.C: 1721122487**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo en especial a mi familia, a mis padres Nubia Y Jaime que son los pilares principales en mi vida, que siempre estuvieron apoyándome desde el inicio hasta el final de mi formación profesional. A mis hermanos Alexander, Mateo, Noemí y Estefy que siempre están a mi lado para apoyarme siempre y puedan seguir mis pasos. A mi querida hija Emily Annabel, ella es mi motivación para salir adelante todos los días por ella soy una mejor persona y siempre con humildad seré un buen profesional.

**Jaime Andrés Rodríguez Mendoza**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mi familia, mi madre por el apoyo emocionalmente a mi padre que siempre me enseñó a ser perseverante para alcanzar mis metas, mis hermanos por sus ejemplos de perseverancia y superación.

A mi novia por estar en las buenas y las malas, gracias a los sacrificios que realizamos podremos tener un futuro mejor y lleno de felicidad.

**Vinicio Gonzalo Tenorio Sangucho**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron para la culminación del proyecto.

A mi compañero de Tesis y gran amigo Vinicio Tenorio gracias a su apoyo y perseverancia logramos sacar adelante la investigación.

A la Sra. Renata León e Ing. Carlos Jaramillo excelentes personas, gracias al apoyo durante bastantes años en ayudarme a culminar mi carrera universitaria.

Al Ing. Germán Erazo por ser nuestro guía y tutor de la investigación, gracias por su tiempo y paciencia dedicados al cumplimiento del proyecto.

Al amor de mi vida Melina Jaramillo por estar siempre pendiente de mí y apoyarme en los momentos más difíciles, gracias por estar a mi lado y darme las fuerzas para seguir adelante.

Finalmente, a mis grandes y mejores amigos Henry, Alex y Kevin, los mejores momentos de mi vida universitaria los pude compartir junto a ustedes, las experiencias inolvidables dentro y fuera de las aulas siempre las voy a llevar presente, gracias muchachos por esa amistad y el gran grupo de trabajo que formamos.

**Jaime Andrés Rodríguez Mendoza**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi amigo y compañero de tesis Jaime Rodríguez, gracias al trabajo y sacrificio realizado logramos culminar con éxitos el proyecto planteado.

Agradezco al Ing. Germán Erazo por ser nuestro guía en este proyecto, por estar de manera incondicional a nuestro lado en el transcurso del mismo.

Gracias a Ricardo, Henry, Kevin, las experiencias vividas dentro y fuera de del periodo académico, donde nos hemos apoyado entre nosotros, compartiendo diferentes experiencias reforzando los lazos de amistad.

**Vinicio Gonzalo Tenorio**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICADO .....</b>	<b>i</b>
<b>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xix</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>xxii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxiv</b>
<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>xxv</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ VOLKSWAGEN A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DE EL TIEMPO DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO” .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto .....	4
1.4. Justificación e importancia .....	5
1.5. Objetivos .....	6

1.5.1. Objetivo general-----	6
1.5.2. Objetivos específicos -----	6
1.6. Metas-----	7
1.7. Hipótesis -----	7
1.8. Variables de la investigación-----	7
1.8.1. Variable independiente -----	7
1.8.2. Variable dependiente -----	7
1.9. Operacionalización de variables -----	7
1.9.1. Variable independiente tiempo de quemado -----	8
1.9.2. Variable dependiente Parámetros característicos del motor CFZ. -----	8
1.10. Metodología de desarrollo de la investigación -----	9
1.10.1. Método inductivo -----	9
1.10.2. Método deductivo -----	9
1.10.3. Método analítico-----	9
1.10.4. Método de síntesis-----	9
1.10.5. Método experimental-----	10
1.10.6. Método comparativo-----	10
1.10.7. Método de observación directa-----	10
1.10.8. Método de medición-----	10
1.10.9. Método de matematización-----	10
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>12</b>
<b>2. “PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA” .....</b>	<b>12</b>
2.1. Introducción -----	12
2.2. Parámetros fundamentales-----	13

2.2.1. Par motor ( $M$ )-----	13
2.2.2. Potencia ( $N$ ) -----	14
2.2.3. Consumo específico de combustible ( $ce$ )-----	16
2.2.4. Presión media efectiva ( $pme$ )-----	17
2.2.5. Elasticidad -----	18
2.2.6. Velocidad media del pistón ( $cm$ ) -----	19
2.3. Obtención de las curvas características del motor-----	19
2.4. Rendimiento del motor de combustión interna-----	20
2.4.1. Rendimiento mecánico ( $\eta m$ ) -----	21
2.4.2. Rendimiento efectivo ( $\eta e$ )-----	22
2.4.3. Rendimiento indicado ( $\eta i$ )-----	22
2.5. Bujías de encendido -----	22
2.5.5. Distancia entre electrodos -----	26
2.5.6. Posición y trayecto de la chispa -----	27
2.5.7. Valor térmico -----	28
2.6. Bobinas de encendido -----	30
2.6.1. Requerimientos-----	31
2.6.2. Diseño y método de operación-----	32
2.6.3. Generación de alta tensión-----	32
2.6.4. Generación de campo magnético -----	33
2.6.5. Circuito magnético-----	34
2.6.6. Encendido en las bujías-----	34
2.6.7. Generación de calor en la bobina -----	35
2.6.8. Circuito primario-----	36
2.6.9. Circuito secundario -----	37
2.6.10. Cálculo de bobinas -----	38

2.7.	Tiempo de quemado -----	39
2.7.1.	Fases de la combustión de la mezcla -----	40
2.8.	Banco dinamométrico de rodillos -----	42
2.8.1.	Características del dinamómetro de rodillos-----	42
2.8.2.	Software del banco dinamométrico de rodillos. -----	43
2.9.	Análisis de gases de escape-----	43
2.9.1.	Analizador de gases -----	44
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>45</b>
<b>3.</b>	<b>PRUEBAS EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO Y ANALIZADOR DE GASES.....</b>	<b>45</b>
3.1.	Equipos y software para el desarrollo de las pruebas.-----	45
3.1.1.	Banco dinamométrico de rodillos MOTORROLL -----	45
3.1.2.	Procedimiento de ensayo en el banco dinamométrico.-----	46
3.1.3.	Configuración del Banco de Rodillos. -----	49
3.1.4.	Software MOTORROL BLAHA-----	52
3.1.5.	Interfaz OBDWIZ OBD II -----	55
3.1.6.	Configuración y uso de la Interfaz OBDWIZ OBD II -----	57
3.1.7.	Osciloscopio Automotriz HANTEK 1008c -----	59
3.1.8.	Analizador de gases CAPELEC -----	63
3.2.	Prueba inicial con los componentes originales.-----	66
3.2.1.	Características de fábrica del vehículo Volkswagen Gol. -----	66
3.2.2.	Obtención de señales con el osciloscopio de los componentes originales. -----	67
3.3.	Pruebas de potencia, torque y consumo de combustible con los componentes originales del vehículo. -----	67

3.4.	Pruebas de potencia, torque y consumo de combustible con diferentes de bujías y bobinas de encendido. ....	68
3.5.	Información de las bujías de encendido. ....	68
3.5.1.	Bosch FR7LDC.....	68
3.5.2.	Bosch FR78X SUPER 4 .....	69
3.5.3.	Denso K16PR-U.....	69
3.5.4.	Bosch FR6LII330X IRIDIO .....	70
3.5.5.	Bosch FR8DP.....	71
3.5.6.	Beru 14FR7DPUX02.....	72
3.5.7.	NGK BKUR5ETC – 10.....	72
3.6.	Información de las bobinas de encendido. ....	73
3.6.1.	Bobina Bosch .....	73
3.6.2.	Bobina Beru .....	74
3.7.	Combinaciones de bujías y bobinas de encendido. ....	75
3.8.	Pruebas de emisiones de gases (CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , HC) con los componentes originales del vehículo. ....	79
3.8.1.	Prueba a marcha mínima o ralentí. ....	79
3.8.2.	Prueba a aceleración libre. ....	79
3.9.	Pruebas de emisiones de gases (CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , HC) con las combinaciones de bujías y bobinas de encendido. ....	80
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>81</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DINAMOMETRICOS, OSCILOGRAMAS Y GASES NOCIVOS. ....</b>		<b>81</b>
4.1.	Análisis del tiempo de quemado con los parámetros originales. ....	81
4.2.	Análisis individual del tiempo de quemado con las diferentes combinaciones. ....	82

4.2.1. Tiempo de quemado BOSCH FR7LDC - Bobina BOSCH. -----	82
4.2.2. Tiempo de quemado de la NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina BOSCH.	83
4.2.3. Tiempo de quemado de la BOSCH FR78X4 - Bobina BOSCH.-----	83
4.2.4. Tiempo de quemado de la BOSCH FR6LII330X - Bobina BOSCH. -	84
4.2.5. Tiempo de quemado de la BOSCH FR8DP - Bobina BOSCH.-----	85
4.2.6. Tiempo de quemado de la BERU 14FR7DPUX02-Bobina BOSCH. -	86
4.2.7. Tiempo de quemado de la DENSO K16PR-U - Bobina BOSCH. -----	86
4.2.8. Tiempo de quemado de la Bosch FR7LDC - Bobina Beru -----	87
4.2.9. Tiempo de quemado de la NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina Beru. ---	88
4.2.10. Tiempo de quemado BOSCH FR78X4 - Bobina Beru.-----	89
4.2.11. Tiempo de quemado BOSCH FR6LII330X - Bobina Beru. -----	89
4.2.12. Tiempo de quemado de la BOSCH FR8DP – Bobina Beru.-----	90
4.2.13. Tiempo de quemado de la BERU 14FR7DPUX02- Bobina BERU.-	91
4.2.14. Tiempo de quemado DENSO K16PR-U - Bobina BERU. -----	92
4.3. Análisis de los parámetros característicos iniciales (potencia, torque y consumo específico de combustible).-----	92
4.4. Análisis individual de los parámetros característicos (potencia, torque y consumo específico de combustible). -----	94
4.4.1. Resultados de la combinación BOSCH FR7LDC - Bobina Bosch. ---	94
4.4.2. Resultados de la combinación NGK BKUR5ETC – 10 – Bobina BOSCH. -----	95
4.4.3. Resultados de la combinación BOSCH FR78X4 - Bobina Bosch.----	96
4.4.4. Resultados de la combinación BOSCH FR6LII330X - Bobina Bosch.-----	98
4.4.5. Resultados de la combinación BOSCH FR8DP - Bobina Bosch. -----	99
4.4.6. Resultados de la combinación BERU 14FR7DPUX02 - Bobina BOSCH. -----	100

4.4.7. Resultados de la combinación DENSO K16PR-U - Bobina Bosch. -	102
4.4.8. Resultados de la combinación BOSCH FR7LDC - Bobina Beru. ----	103
4.4.9. Resultados de la combinación NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina Beru .-----	104
4.4.10. Resultados de la combinación BOSCH FR78X4 - Bobina Beru. ---	106
4.4.11. Resultados de la combinación BOSCH FR6LII330X - Bobina Beru.-----	107
4.4.12. Resultados de la combinación BOSCH FR8DP - Bobina Beru. ----	108
4.4.13. Resultados de la combinación BERU 14FR7DPUX02 - Bobina Beru.-----	110
4.4.14. Resultados de la combinación DENSO K16PR-U - Bobina Beru.-----	111
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>122</b>
<b>5. MARCO ADMINISTRATIVO .....</b>	<b>122</b>
5.1. Recursos utilizados-----	122
5.1.1. Recurso institucional-----	122
5.1.2. Recurso humano.-----	122
5.1.3. Recurso material-----	123
5.1.4. Recurso tecnológico.-----	123
5.1.5. Recurso de apoyo-----	123
5.2. Presupuesto de la investigación.-----	124
5.2.1. Presupuesto recurso material-----	124
5.2.2. Presupuesto recurso tecnológico-----	124
5.2.3. Presupuesto recurso de apoyo-----	125
5.2.4. Presupuesto total-----	125
<b>5.3. Cronograma.....</b>	<b>126</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>127</b>

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>130</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama Causa – Efecto.....	3
Figura 2: Curva característica de par motor (azul) y potencia (rojo). .....	14
Figura 3: Curva característica de potencia. ....	15
Figura 4: Bujía de encendido en un motor a gasolina. ....	23
Figura 5: Temperatura y presiones de la bujía de encendido. ....	25
Figura 6: Componentes de una bujía de encendido. ....	26
Figura 7: Distancia entre electrodos. ....	27
Figura 8: Temperatura de funcionamiento de una bujía. ....	29
Figura 9: Disipación de calor de acuerdo a la forma del aislador.....	29
Figura 10: Comportamiento térmico de la bujía. ....	30
Figura 11: Principio de generación del alto voltaje.....	32
Figura 12: Curva de la corriente primaria en la bobina de encendido.....	33
Figura 13: Oscilograma del circuito primario.....	37
Figura 14: Oscilograma del circuito secundario. ....	38
Figura 15: Oscilograma Tiempo de quemado. ....	39
Figura 16: Secuencia normal de la combustión de la mezcla. ....	41
Figura 17: Dinamómetro de rodillos Motorroll. ....	42
Figura 18: Software BLAHA para ensayos dinamométricos. ....	43
Figura 19: Analizador de gases capelec. ....	44
Figura 20: Interfaz OBDWIZ.....	56
Figura 21: Lectura de PIDs a través de la interfaz OBDWIZ.....	56
Figura 22: Osciloscopio Automotriz Hantek 1008c. ....	60
Figura 23: Analizador de gases automotrices capelec.....	64
Figura 24: Analizador de gases Capelec en funcionamiento. ....	64
Figura 25: Juego de bujías Bosch 3 electrodos. ....	67
Figura 26: Juego de bujías 2 electrodos. ....	68
Figura 27: Juego de bujías Bosch 4 electrodos .....	69
Figura 28: Juego de bujías Denso. ....	70
Figura 29: Juego de bujías Bosch doble Iridio. ....	71
Figura 30: Juego de bujías Bosch Platino.....	71
Figura 31: Juego de bujías Beru Platino. ....	72
Figura 32: Juego de Bujías NGK 3 electrodos. ....	73

Figura 33: Bobina de encendido Bosch. ....	74
Figura 34: Bobina de encendido Beru.....	75
Figura 35: Oscilograma del circuito secundario parámetros iniciales. ....	81
Figura 36: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 1 .....	82
Figura 37: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 2. ....	83
Figura 38: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 3. ....	84
Figura 39: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 4. ....	85
Figura 40: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 5. ....	85
Figura 41: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 6. ....	86
Figura 42: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 7. ....	87
Figura 43: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 8. ....	88
Figura 44: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 9. ....	88
Figura 45: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 10. ....	89
Figura 46: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 11. ....	90
Figura 47: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 12. ....	91
Figura 48: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 13. ....	91
Figura 49: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 14. ....	92
Figura 50: Curvas de potencia y torque de parámetros iniciales. ....	93
Figura 51: Curvas de potencia y torque de la combinación 1. ....	94
Figura 52: Curvas de potencia y torque de la combinación 2. ....	96
Figura 53: Curvas de potencia y torque de la combinación 3. ....	97
Figura 54: Curvas de potencia y torque de la combinación 4. ....	98
Figura 55: Curvas de potencia y torque de la combinación 5. ....	100
Figura 56: Curvas de potencia y torque de la combinación 6. ....	101
Figura 57: Curvas de potencia y torque de la combinación 7. ....	102
Figura 58: Curvas de potencia y torque de la combinación 8. ....	104
Figura 59: Curvas de potencia y torque de la combinación 9. ....	105
Figura 60: Curvas de potencia y torque de la combinación 10. ....	106
Figura 61: Curvas de potencia y torque de la combinación 11. ....	108
Figura 62: Curvas de potencia y torque de la combinación 12. ....	109
Figura 63: Curvas de potencia y torque de la combinación 13. ....	110
Figura 64: Curvas de potencia y torque de la combinación 14. ....	112
Figura 65: Comparación de las potencias de motor.....	113
Figura 66: Comparación de las curvas de mayor y menor potencia. ....	113

Figura 67: Comparación de los torques obtenidos.....	114
Figura 68. Comparación del mayor y menor torque obtenidos. ....	114
Figura 69: Rendimiento térmico .....	117
Figura 70: Rendimiento indicado .....	118
Figura 71: Rendimiento mecánico .....	118
Figura 72. Comparación de las emisiones de CO.....	119
Figura 73. Comparación de las emisiones de CO <sub>2</sub> .....	120
Figura 74: Comparación de las emisiones de O <sub>2</sub> . ....	120
Figura 75: Comparación de las emisiones de HC.....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable independiente. ....	8
Tabla 2. Operacionalización de variable dependiente. ....	8
Tabla 3. Valores de presión media efectiva. ....	17
Tabla 4. Valores de elasticidad de un motor de combustión interna. ....	18
Tabla 5. Pérdidas en el motor de combustión interna. ....	22
Tabla 6. Características del dinamómetro de rodillos ....	46
Tabla 7. Procedimiento para el ensayo dinamométrico. ....	47
Tabla 8. Configuración del dinamómetro de rodillos. ....	49
Tabla 9. Funciones del Software BLAHA. ....	52
Tabla 10. Configuración de la Interfaz OBDWIZ ODBII. ....	57
Tabla 11. Uso del Osciloscopio Hantek 1008c. ....	61
Tabla 12. Uso del analizador de gases CAPELEC. ....	64
Tabla 13. Características originales del vehículo Volkswagen gol. ....	66
Tabla 14: Características de la bujía FLR7HTCO ....	67
Tabla 15. Descripción Bosch FR7LDC. ....	68
Tabla 16. Descripción Bosch FR78LX4. ....	69
Tabla 17. Descripción Denso K16PR-U. ....	69
Tabla 18. Descripción Bosch FR6LII330X ....	70
Tabla 19. Descripción Bosch FR8DP. ....	71
Tabla 20. Descripción Beru 14FR7DPUX02. ....	72
Tabla 21. Descripción NGK BKUR5ETC – 10. ....	72
Tabla 22. Característica Bobina Bosch. ....	74
Tabla 23. Característica Bobina Beru. ....	75
Tabla 24. Combinación 1, Bosch FR7LDC – Bobina Bosch. ....	76
Tabla 25. Combinación 2, NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina Bosch. ....	76
Tabla 26. Combinación 3, Bosch FR78X4 - Bobina Bosch. ....	76
Tabla 27. Combinación 4, Bosch FR6LII330X - Bobina Bosch. ....	76
Tabla 28. Combinación 5, Bosch FR8DP - Bobina Bosch. ....	77
Tabla 29. Combinación 6, Beru 14FR7DPUX02 - Bobina Bosch. ....	77
Tabla 30. Combinación 7, Denso K16PR-U - Bobina Bosch. ....	77

Tabla 31. Combinación 8, Bosch FR7LDC - Bobina Beru.....	77
Tabla 32. Combinación 9, NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina Beru .....	78
Tabla 33. Combinación 10, Bosch FR78X4 - Bobina Beru .....	78
Tabla 34. Combinación 11, Boch FR6LII330X - Bobina Beru.....	78
Tabla 35. Combinación 12, Bosch FR8DP - Bobina Beru.....	78
Tabla 36. Combinación 13, Beru 14FR7DPUX02 - Bobina Beru .....	79
Tabla 37. Combinación 14, Denso K16PR-U - Bobina Beru.....	79
Tabla 38. Tiempos de quemado con los parámetros originales.....	81
Tabla 39. Tiempos de quemado con la combinación 1. ....	82
Tabla 40. Tiempos de quemado con la combinación 2. ....	83
Tabla 41. Tiempos de quemado con la combinación 3. ....	84
Tabla 42. Tiempos de quemado con la combinación 4. ....	84
Tabla 43. Tiempos de quemado con la combinación 5. ....	85
Tabla 44. Tiempos de quemado con la combinación 6. ....	86
Tabla 45. Tiempos de quemado con la combinación 7. ....	87
Tabla 46. Tiempos de quemado con la combinación 8. ....	87
Tabla 47. Tiempos de quemado con la combinación 9. ....	88
Tabla 48. Tiempos de quemado con la combinación 10. ....	89
Tabla 49. Tiempos de quemado con la combinación 11. ....	90
Tabla 50. Tiempos de quemado con la combinación 12. ....	90
Tabla 51. Tiempos de quemado con la combinación 13. ....	91
Tabla 52. Tiempos de quemado con la combinación 14. ....	92
Tabla 53. Valores de los parámetros característicos iniciales. ....	93
Tabla 54. Valores máximos de los parámetros iniciales.....	93
Tabla 55. Valores de potencia, torque de la combinación 1. ....	94
Tabla 56. Valores máximos de la combinación 1.....	95
Tabla 57. Valores de potencia, torque de la combinación 2. ....	95
Tabla 58. Valores máximos de la combinación 2. ....	96
Tabla 59. Valores de potencia, torque de la combinación 3. ....	96
Tabla 60. Valores máximos de la combinación 3. ....	97
Tabla 61. Valores de potencia, torque de la combinación 4. ....	98
Tabla 62. Valores máximos de la combinación 4. ....	99

Tabla 63. Valores de potencia, torque de la combinación 5. ....	99
Tabla 64. Valores máximos de la combinación 5. ....	100
Tabla 65. Valores de potencia y torque de la combinación 6. ....	100
Tabla 66. Valores máximos de la combinación 6. ....	101
Tabla 67. Valores de potencia, torque de la combinación 7. ....	102
Tabla 68. Valores máximos de la combinación 7.....	103
Tabla 69. Valores de potencia y torque de la combinación 8. ....	103
Tabla 70. Valores máximos de la combinación 8. ....	104
Tabla 71. Valores de potencia, torque de la combinación 9. ....	104
Tabla 72. Valores máximos de la combinación 9.....	105
Tabla 73. Valores de potencia, torque de la combinación 10.....	106
Tabla 74. Valores máximos de la combinación 10. ....	107
Tabla 75. Valores de potencia, torque de la combinación 11.....	107
Tabla 76. Valores máximos de la combinación 11. ....	108
Tabla 77. Valores de potencia, torque de la combinación 12.....	108
Tabla 78. Valores máximos de la combinación 12. ....	109
Tabla 79. Valores de potencia, torque de la combinación 13.....	110
Tabla 80. Valores máximos de la combinación 13. ....	111
Tabla 81. Valores de potencia, torque de la combinación 14.....	111
Tabla 82. Valores máximos de la combinación 14. ....	112
<b>Tabla 1.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 2.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 3.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 4.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 5.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 6.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 7.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 8.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 9.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 10: Lectura de PIDs a través de la interfaz OBDWIZ.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 11. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 12. ....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 13. ....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 14. ....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 15. ....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 16. ....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 17. ....</b>	<b>69</b>

<b>Tabla 18.</b> .....	69
<b>Tabla 19.</b> .....	70
<b>Tabla 20.</b> .....	71
<b>Tabla 21.</b> .....	72
<b>Tabla 22.</b> .....	72
<b>Tabla 23.</b> .....	74
<b>Tabla 24.</b> .....	75
<b>Tabla 25.</b> .....	76
<b>Tabla 26.</b> .....	76
<b>Tabla 27.</b> .....	76
<b>Tabla 28.</b> .....	76
<b>Tabla 29.</b> .....	77
<b>Tabla 30.</b> .....	77
<b>Tabla 31.</b> .....	77
<b>Tabla 32.</b> .....	77
<b>Tabla 33.</b> .....	78
<b>Tabla 34.</b> .....	78
<b>Tabla 35.</b> .....	78
<b>Tabla 36.</b> .....	78
<b>Tabla 37.</b> .....	79
<b>Tabla 38.</b> .....	79
<b>Tabla 39.</b> .....	81
<b>Tabla 40.</b> .....	82
<b>Tabla 41.</b> .....	83
<b>Tabla 42.</b> .....	84
<b>Tabla 43.</b> .....	84
<b>Tabla 44.</b> .....	85
<b>Tabla 45.</b> .....	86
<b>Tabla 46.</b> .....	87
<b>Tabla 47.</b> .....	87
<b>Tabla 48.</b> .....	88
<b>Tabla 49.</b> .....	89
<b>Tabla 50.</b> .....	90
<b>Tabla 51.</b> .....	90
<b>Tabla 52.</b> .....	91
<b>Tabla 53.</b> .....	92
<b>Tabla 54.</b> .....	93
<b>Tabla 55.</b> .....	93
<b>Tabla 56.</b> .....	94
<b>Tabla 57.</b> .....	95
<b>Tabla 58.</b> .....	95
<b>Tabla 59.</b> .....	96
<b>Tabla 60.</b> .....	96
<b>Tabla 61.</b> .....	97
<b>Tabla 62.</b> .....	98

<b>Tabla 63.</b>	99
<b>Tabla 64.</b>	99
<b>Tabla 65.</b>	100
<b>Tabla 66.</b>	100
<b>Tabla 67.</b>	101
<b>Tabla 68.</b>	102
<b>Tabla 69.</b>	103
<b>Tabla 70.</b>	103
<b>Tabla 71.</b>	104
<b>Tabla 72.</b>	104
<b>Tabla 73.</b>	105
<b>Tabla 74.</b>	106
<b>Tabla 75.</b>	107
<b>Tabla 76.</b>	107
<b>Tabla 77.</b>	108
<b>Tabla 78.</b>	108
<b>Tabla 79.</b>	109
<b>Tabla 80.</b>	110
<b>Tabla 81.</b>	111
<b>Tabla 82.</b>	111
<b>Tabla 83.</b>	112
<b>Tabla 84.</b>	112
<b>Tabla 85.</b>	113
<b>Tabla 86.</b>	114
<b>Tabla 87.</b>	115
<b>Tabla 88.</b>	116
<b>Tabla 89.</b>	117
<b>Tabla 90.</b>	122
<b>Tabla 91.</b>	122
<b>Tabla 92.</b>	123
<b>Tabla 93.</b>	123
<b>Tabla 94.</b>	123
<b>Tabla 95.</b>	124
<b>Tabla 96.</b>	124
<b>Tabla 97.</b>	125
<b>Tabla 98.</b>	125

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Par motor .....	13
Ecuación 2: Potencia .....	14
Ecuación 3: Consumo específico de combustible .....	16
Ecuación 4: Presión media efectiva .....	17
Ecuación 5: Coeficiente de elasticidad .....	18
Ecuación 6: Velocidad media del pistón .....	19
Ecuación 7: Rendimiento del motor de combustión interna .....	20
Ecuación 8: Rendimiento térmico .....	21
Ecuación 9: Rendimiento mecánico.....	21
Ecuación 10: Rendimiento Indicado.....	22
Ecuación 11: Relación de transformación.....	38
Ecuación 12: Relación de transformación con voltajes .....	38
Ecuación 13: Numero de chispas .....	39

## RESUMEN

El proyecto trata sobre la optimización de los parámetros característicos del motor CFZ del vehículo Volkswagen Gol a través de la variación de los tiempos de quemado que se producen por el uso de diferentes bujías y bobinas de encendido. Para la investigación se usaron 7 tipos de bujías y 2 tipos de bobinas de diferentes marcas, comprobando así su influencia en el motor. Se tomó como referencia lo especificado en los catálogos de fabricantes de bujías y bobinas, cuales son las indicadas para el motor CFZ. Después de obtener las bujías y bobinas se realizó combinaciones de las mismas, tomando en cuenta el número de electrodos, material de fabricación de los electrodos, grado térmico, distancia entre electrodos y marca. Con las combinaciones realizadas se efectuaron las pruebas dinamométricas en un banco de rodillos del cual se obtuvo las curvas características par motor y potencia, a través de una interfaz conectada al puerto obd ii del vehículo se consiguió el consumo de combustible, además el análisis de gases de O<sub>2</sub>, HC, CO<sub>2</sub>, CO mediante el uso de un equipo de prueba. Con el manejo de resultados logrados, resultó que en una combinación bujía BOSCH FRDP y bobina BOSCH se alcanzó un incremento de par motor, potencia y disminuyendo el consumo de combustible logrando así optimizar los parámetros característicos del motor CFZ.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **AUTOMÓVILES - BUJÍAS**
- **AUTOMÓVILES - BOBINAS**
- **AUTOMÓVILES - CONSUMO DE COMBUSTIBLE**
- **ANÁLISIS DE GASES**
- **AUTOMOVIL VOLKSWAGEN GOL**

## **ABSTRACT**

The project deals with the optimization of the parameters characteristic of the CFZ engine of the Volkswagen Gol vehicle through the variation of the burn times that are produced by the use of different spark plugs and ignition coils. For the investigation 7 types of spark plugs and 2 types of coils of different brands were used, thus checking their influence on the engine. The manufacturer's catalogs of spark plugs and coils were taken as reference, which are those indicated for the CFZ engine. After obtaining the spark plugs and coils, combinations of these were made, taking into account the number of electrodes, electrode fabrication, thermal grade, distance between electrodes and mark. With the combinations made, the dynamometric tests were carried out in a roller bank from which the characteristic curves for engine and power were obtained, through an interface connected to the obd ii port of the vehicle the fuel consumption was obtained, besides the gas analysis Of O<sub>2</sub>, HC, CO<sub>2</sub>, CO by the use of a test equipment. With the results achieved, a combination of BOSCH FRDP and BOSCH coil resulted in an increase in engine torque, power and fuel consumption, thus optimizing the parameters of the CFZ engine.

### **KEYWORDS:**

- **VEHICLES - SPARK PLUGS**
- **VEHICLES - IGNITION COIL**
- **VEHICLES - FUEL CONSUMPTION**
- **EXHAUST GASES**
- **VEHICLE VOLKSWAGEN GOL**

## PRESENTACIÓN

El proyecto de investigación denominado “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ DEL VEHÍCULO VOLKSWAGEN GOL A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DE EL TIEMPO DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO” se basa en la influencia de usar diferentes bujías y bobinas en la mejora del rendimiento del motor CFZ para determinar si es factible el uso de las mismas en diferentes motores de combustión interna.

La investigación se encuentra dividida en 5 capítulos.

**El capítulo 1**, comprende la parte inicial de la investigación determinando así el problema, campo, objeto, la justificación además de los objetivos correspondientes.

**El capítulo 2**, se obtiene el marco teórico de varias fuentes bibliográficas como: libros, manuales, artículos científicos, tomando en cuenta las normas que fueron de mucho a para llevar la investigación.

**El capítulo 3**, se especifica el proceso de los diferentes equipos y materiales utilizados en los diferentes ensayos dinamométricos y de gases nocivos cuando se combinan diferentes bujías y bobinas de encendido, determinando así los parámetros característicos del motor CFZ.

**El capítulo 4**, se efectuó el análisis de los ensayos dinamométricos obtenidos en el trabajo de campo como parte de la investigación, generando valiosa información acerca del uso de bujías y bobinas que ayudan a optimizar los parámetros característicos del motor.

**El capítulo 5**, se conoce el marco administrativo donde se describe los recursos utilizados para la ejecución de la investigación.

Como punto final de la investigación se exhiben las conclusiones y recomendaciones con el objetivo que sean utilizados por futuros investigadores en el campo automotriz como fuente de consulta.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR CFZ VOLKSWAGEN A TRAVÉS DE LA VARIACIÓN DE LOS TIEMPOS DE QUEMADO ORIGINADO POR DIVERSOS TIPOS DE BUJÍAS Y BOBINAS DE ENCENDIDO”

#### 1.1. Antecedentes

Las innovaciones que existen para mejorar los parámetros característicos del motor de combustión interna van desde la estructura básica hasta los sistemas y dispositivos electrónicos, con el pasar de los años han logrado mejorar las condiciones de funcionamiento de los vehículos aumentando su potencia y reduciendo el consumo de combustible.

Menor emisiones, reducción del consumo de combustible, aumento de la tensión de encendido, incrementar la potencia y el torque del motor de combustión interna son las exigencias que los fabricantes de vehículos en los últimos años se han planteado y los principales retos que desean cumplir.

Durante las últimas décadas, numerosos estudios se han realizado para entender los efectos de la fabricación de bujías en el rendimiento del motor de encendido por chispa en varios aspectos. Número de electrodos, forma, tamaño, materiales y la orientación son los principales parámetros en las investigaciones. Una capacidad de ignición superior, con más bujías sustentables fueron los principales objetivos de estos estudios.

Unos de los principales componentes para la mejora de los parámetros característicos de los motores de combustión interna son el tipo de bujía y de bobina de encendido para lograr una mejor combustión de la mezcla aire - combustible.

(Reif, 2015) menciona que: “La bujía y bobina comprenden parte fundamental del sistema de encendido. La bobina de encendido es el componente responsable de convertir el bajo voltaje de la batería a una tensión necesaria para generar la combustión súbita en la bujía. La bobina de

encendido funciona a base de la inducción electromagnética: La energía almacenada en el campo magnético del arrollamiento primario de la bobina se transmite por inducción magnética a la parte del arrollamiento secundario.”

Existe una amplia variedad de diseños de bujías disponibles en el mercado. Entender las diferencias entre ellas es beneficioso para ayudar a que el motor funcione correctamente y de manera eficiente. Los principales tipos de diseños de bujía en la producción incluyen; la forma del electrodo central también como su material, electrodos de tierra o masa, la brecha de la superficie, múltiples electrodos de tierra, y sus combinaciones. El diseño del centro de la bujía y electrodos de masa es un factor importante que desempeña un papel clave en la eficacia de las bujías de encendido.

(Abdel-Rehim, 2012) expresa: “Las bobinas de encendido están sometidas a las exigencias del diseño, la combustión normal se produce cuando la bujía enciende la mezcla de aire-combustible y la quema avanza suavemente a través de la cámara. El proceso de combustión normal se inicia mediante una chispa temporizada, y el frente de llama se mueve de manera uniforme a través de toda la cámara de combustión a una velocidad normal. La combustión anormal se produce cuando la llama no se propaga de manera uniforme y fácilmente a través de la cámara de combustión”.

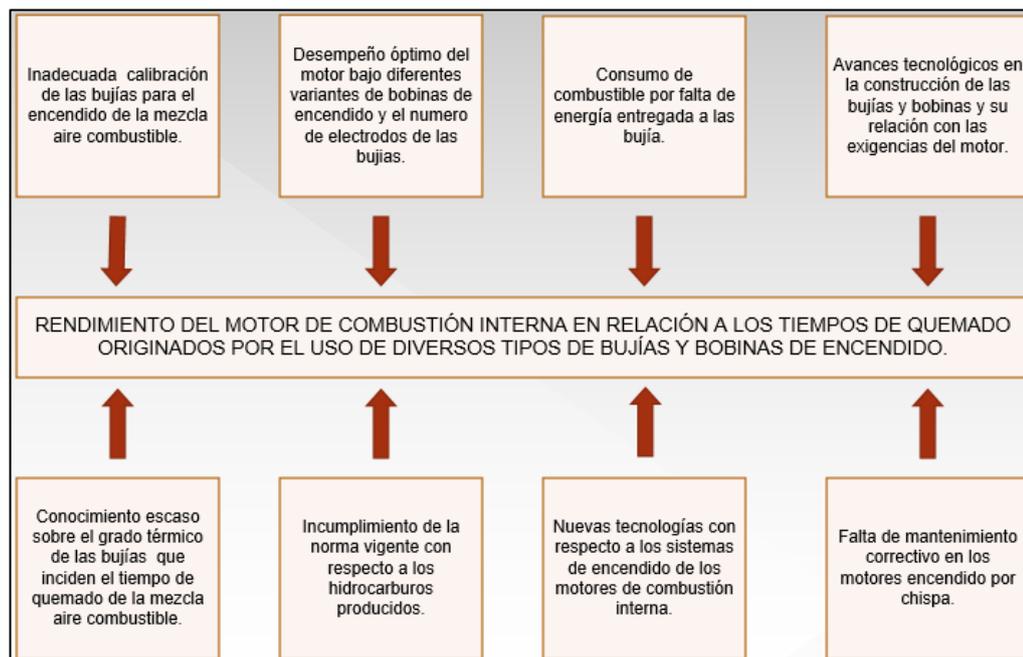
Para que el motor pueda funcionar sin problemas, a plena potencia y de un modo respetuoso con el medio ambiente, deben cumplirse muchas condiciones: debe existir la cantidad necesaria de mezcla óptima de aire y combustible en el cilindro, la chispa de encendido, rica en energía debe saltar entre los electrodos en el momento exacto, previamente determinado.

(Rolle, 2006) afirma que: “Las bujías deben satisfacer los requisitos de rendimiento más altos: proporcionar una potente chispa de encendido entre 500 y 3.500 veces por minuto (en un ciclo de 4 tiempos), incluso durante horas de conducción a altas revoluciones o cuando se circula parando e iniciando la marcha constantemente. Incluso a una temperatura de -20 °C, deben garantizar un encendido completamente fiable. Las bujías de alta tecnología proporcionan una combustión de bajas emisiones y una eficiencia óptima del

combustible, sin fallos de encendido que pueden provocar que el combustible sin quemar entre en el convertidor catalítico, y destruirlo”.

## 1.2. Planteamiento del problema

La investigación tiene origen por el rendimiento del motor de combustión interna en relación a el tiempo de quemado originados por el uso de diversos tipos de bujías y bobinas de encendido.



**Figura 1: Diagrama Causa – Efecto.**

El conocimiento escaso que existe sobre el grado térmico va a incidir en el tiempo de quemado de la mezcla aire - combustible, en las bujías se producen residuos o depósitos de carbón que necesitan ser quemados, cuando los residuos no son quemados adecuadamente se verá afectado el funcionamiento de la bujía y no se producirá la chispa, el grado térmico alto permite quemar los depósitos de carbón ya que la bujía permanece caliente.

El desempeño del motor de combustión interna incide en las variantes de bobinas de encendido, la energía que es proporcionada de la bobina a las bujías debe ser la suficiente para poder encender la mezcla aire – combustible en el tiempo de compresión. Las bobinas de encendido actuales están cada vez más sometidas a las exigencias del diseño; sin embargo, la función de los motores de encendido por chispa sigue siendo la misma: la mezcla de aire-

combustible se debe encender en el momento adecuado con la energía de encendido óptima para que se produzca una combustión completa.

Se produce el consumo de combustible cuando falta energía de la bobina de encendido a las bujías, la mezcla aire – combustible no se combustiona completamente y se mezclará con los gases de escape que son expulsados hacia el medio ambiente.

La inadecuada calibración de las bujías puede provocar que el encendido de la mezcla sea incorrecto, en el caso de una separación entre electrodos demasiado pequeña, la tensión de encendido será ciertamente pequeña, se producen fallos de encendido, ya que por causa de la chispa corta se transmite insuficiente energía a la mezcla. Una separación entre electrodos demasiado grande exige una elevada tensión de encendido. Así, la energía se transmite en forma muy favorable a la mezcla, sin embargo, la disminución de la reserva de tensión aumenta el riesgo de fallos de encendido.

### **1.3. Descripción resumida del proyecto**

En la investigación a realizarse se recopiló información de fuentes confiables tales como son libros, tesis, artículos científicos de bases digitales, manuales de los fabricantes, normas técnicas.

Se verificó la existencia de bobinas y bujías para generar los diferentes tiempos de quemados, esto se llevó a cabo con la revisión de los catálogos de los fabricantes de bujías y bobinas los cuales indican que tipos de bujías debe utilizar el motor CFZ.

Se realizó las diferentes pruebas para determinar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor CFZ del vehículo Volkswagen Gol con las variaciones de los componentes del sistema de encendido (bujías y bobinas), mediante el uso del dinamómetro de rodillos y el analizador de gases.

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

Se realizó cálculos que permitan obtener parámetros fundamentales tales como: rendimiento del motor, presión media efectiva, consumo específico de combustible, relación entre arrollamiento primario y secundario.

#### **1.4. Justificación e importancia**

Con los nuevos avances tecnológicos en el campo automotriz se pueden mejorar las prestaciones del motor y evitar una contaminación mayor del medio ambiente, se crean fuentes de investigación que utilicen variantes de bujías de encendido y bobinas de encendido para que el motor pueda funcionar sin problemas, a plena potencia respetando a la vez el medio ambiente, deben cumplirse muchas condiciones: debe existir la cantidad necesaria de mezcla óptima de aire y combustible en el cilindro, la chispa de encendido rica en energía debe saltar entre los electrodos en el momento exacto, previamente determinado.

La contribución de la presente investigación permitió obtener parámetros válidos acerca de las curvas características del motor CFZ y un conocimiento acerca de las diferentes materiales, grados térmicos y número de electrodos de las bujías de encendido que se utilizan en los motores de combustión interna a gasolina, además del voltaje necesario que debe suministrar la bobina de encendido para que se produzca la inflamación de la mezcla aire combustible.

Para las condiciones del medio ambiente el motor CFZ debe alcanzar el desempeño óptimo de sus parámetros característicos y a su vez lograr una reducción de las emisiones de gases contaminantes.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Analizar el comportamiento de los parámetros característicos del motor CFZ del vehículo Volkswagen Gol a través de la variación de los tiempos de quemado originados por diversos tipos de bujías y bobinas de encendido para optimizar el rendimiento térmico del motor.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Investigar referencias bibliográficas tales como artículos, manuales técnicos con respecto al vehículo Volkswagen Gol, variantes de bujías y bobinas de encendido que ayuden a la investigación práctica.
- Obtener información de diferentes tipos de bujías y bobinas de encendido como: Bosch, NGK, Denso, y Beru.
- Realizar combinaciones de regulaciones de luz de las bujías, grados térmicos, número de electrodos, bobina original y una bobina alterna de diferente fabricante.
- Efectuar las pruebas de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo de combustible) del motor CFZ en el dinamómetro de rodillos controlada con diferentes tiempos de quemado.
- Realizar las diferentes pruebas en el dinamómetro de rodillos para determinar los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico) del motor CFZ del vehículo Volkswagen Gol cuando se realiza las diferentes combinaciones de bujías (grado térmico y regulación de luz, materiales y número de electrodos) y bobinas de encendido.
- Tabular los datos obtenidos de las diferentes pruebas que se realicen en el dinamómetro de rodillos.
- Generar información con los resultados de los parámetros característicos del motor CFZ con las combinaciones de bujías y bobinas de encendido y ajustes de tiempo de quemado.

## **1.6. Metas**

- Obtener los datos que permitan el correcto funcionamiento del motor, según el tipo de bujía y calibración que se utilice.
- Determinar la eficiencia de las bobinas alternas que se ofertan, y comparar que funcionen en los mismos rangos que la bobina original que posee el motor CFZ.
- Generar un documento de rigurosidad académica en el área de Autotrónica.

## **1.7. Hipótesis**

- La investigación relacionada a la variación de el tiempo de quemado variando los tipos de bujía y bobina de encendido permitirá optimizar los parámetros característicos del motor CFZ.

## **1.8. Variables de la investigación**

### **1.8.1. Variable independiente**

Tiempo de quemado.

### **1.8.2. Variable dependiente**

Parámetros característicos del motor CFZ.

## **1.9. Operacionalización de variables**

La operacionalización de las variables de la investigación centra su análisis en comprobar los agregados tales como: concepto, categoría, indicadores, ítem, técnicas e instrumentos.

### 1.9.1. Variable independiente tiempo de quemado

**Tabla 1.**  
**Operacionalización de variable independiente.**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es el tiempo de duración del arco eléctrico producido por la bujía para que la mezcla aire – combustible pueda combustionarse completamente.	Bujías de encendido para la combustión de la mezcla aire - combustible	Luz entre electrodos.	mm	Calibración	Experimentación
		Grado térmico	o	Especificación	Experimentación
		Número de electrodos	#	Especificación	Experimentación
	Bobina de encendido para la generación del alto voltaje.	Voltaje primario – secundario	V	Medición	Experimentación
		Intensidad primario – secundario	A	Medición	Experimentación
		Tiempo de quemado secundario	Seg.	Medición	Experimentación
Régimen	Revoluciones por minuto	RPM	Medición	Experimentación	

### 1.9.2. Variable dependiente Parámetros característicos del motor CFZ.

**Tabla 2.**  
**Operacionalización de variable dependiente.**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos	
Son indicadores que permiten conocer el desempeño y rendimiento térmico de un motor a combustión interna.	Curvas características	Torque	Nm	Medición	Experimentación	
		Potencia	HP	Medición	Experimentación	
		Consumo específico	gr/ kW .h	Medición	Experimentación	
		Contaminación	Niveles de Emisiones	ppm	Medición	Experimentación
				HC, %		Trabajo de campo.

## **1.10. Metodología de desarrollo de la investigación**

La metodología de la investigación es en toda su extensión experimental, las pruebas de los parámetros característicos se las realizó en el laboratorio de Motores y Autotrónica, además de la operación de las variables las cuales se obtuvo: tiempos de quemado, oscilogramas, voltaje, oscilogramas del arrollamiento secundario, especificación de las bujías y bobinas de encendido utilizadas.

### **1.10.1. Método inductivo**

El método fue empleado pues la investigación se realizó en un automóvil de marca Volkswagen, modelo Gol tipo Sedán, el cual es un vehículo que posee un motor a combustión interna con encendido por chispa y se implementó variantes de bujías y bobinas de encendido, en el proceso se efectuó diferentes pruebas de las cuales los resultados y conclusiones que se produzcan se podrán aplicar a todos los automóviles de motor a gasolina.

### **1.10.2. Método deductivo**

La investigación tuvo su camino en el análisis los parámetros característicos del motor: torque, potencia y consumo específico de combustible, además de los niveles de emisiones que son generados por los automóviles, se examinó estos parámetros bajo la influencia de el tiempo de quemado.

### **1.10.3. Método analítico**

Se analizó el efecto individual que causa el uso de variantes de bujías y bobinas de encendido en los parámetros característicos del motor CFZ: torque, potencia y consumo específico de combustible, además en las emisiones de gases nocivos y los hidrocarburos producidos por el mismo.

### **1.10.4. Método de síntesis**

El método ayudó a generar un resumen del trabajo realizado en nuestras condiciones llegando a emitir una explicación de los datos

resultantes de las pruebas realizadas bajo la influencia del ajuste del tiempo de quemado y de los diferentes tipos de bujías y bobinas de encendido.

#### **1.10.5. Método experimental**

Se aplicó este método debido a que se van a realizar pruebas y mediciones con la ayuda del dinamómetro de rodillos Motorroll y el analizador de gases, los cuales optimizaron los parámetros característicos ideales y emisión de gases nocivos e hidrocarburos del motor CFZ cuando funcionan con diferentes tipos de bujías, bobinas de encendido y ajustes del tiempo de quemado.

#### **1.10.6. Método comparativo**

En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros característicos del motor CFZ: torque, potencia y consumo específico de combustible, basándose en datos y mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento del motor, y con el uso de diferentes tipos de bujías y bobinas de encendido.

#### **1.10.7. Método de observación directa**

Permitió la observación de las diferentes pruebas realizadas en el laboratorio de motores, obteniendo resultados variables de los parámetros característicos del motor CFZ con la influencia de las variantes bujías y bobinas de encendido.

#### **1.10.8. Método de medición**

En la investigación se manifiestan los valores de los parámetros característicos del motor de forma numéricos, estos valores se obtienen de forma práctica con los diferentes equipos de medición observando si existe una variación de los mismos.

#### **1.10.9. Método de matematización**

Representados los resultados de la investigación de forma numérica, se utiliza este método para justificar teóricamente y mediante cálculos

matemáticos los valores de potencia, torque y consumo de combustible, además de las concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , HC y CO.

## CAPÍTULO II

### 2. “PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA”

#### 2.1. Introducción

El motor de combustión interna posee elementos mecánicos móviles y fijos que pueden transformar la energía química de un fluido combustible absorbido en energía mecánica, la cual se verá reflejada en los parámetros característicos (potencia, torque o par motor y consumo específico de combustible).

Los motores térmicos de combustión interna empleados en automoción deben cumplir una serie de cualidades:

- Buen rendimiento, que la mayor parte de la energía química sea transformada en energía mecánica.
- Potencia y par motor eficientes en relación a un consumo específico de combustible bajo.
- Gases de escape con poco porcentaje de contaminación.

(Binjuwair & Alkudsi, 2015) afirman: “Como resultado de la creciente demanda de motores de combustión interna (IC), junto con las normas de emisión estrictas, se requieren motores más limpios todavía más eficientes y potentes. La interacción del motor de combustible es un asunto complejo que requiere unas investigaciones extensas y de estudios no agotados en la búsqueda de motores más eficientes y menos contaminantes”.

(Mariani & Foucher, 2014) manifiestan: “El sistema de encendido en motores de combustión interna es fundamental para la eficiencia del motor y las emisiones contaminantes. El sistema de encendido por chispa almacena la energía eléctrica en una bobina magnética y la descarga a través de la separación de los electrodos de la bujía, situada en la cámara de combustión. Es necesario disponer de una composición de mezcla de combustible y aire adecuada alrededor de la distancia entre los electrodos en el tiempo de encendido con el fin de generar un núcleo de llama que puede propagarse a través de la cámara de combustión. La transferencia de energía a la mezcla

de aire-combustible en el cilindro, no es óptima mientras absorbe apenas una cantidad pequeña de la energía eléctrica”.

Mejoras en los parámetros característicos y las emisiones de gases de escape del motor de encendido por chispa, se pueden lograr por varios parámetros, como cambiar la relación de compresión a través de la geometría del motor o aspiración forzada, la estequiometría, el método de suministro de combustible y la mezcla, bujías de encendido más eficientes además de bobinas de encendido que puedan entregar una tensión adecuada.

## 2.2. Parámetros fundamentales

(Calleja, 2015) manifiesta que: “Para lograr comprender mejor el funcionamiento del motor de combustión interna se debe analizar los diferentes parámetros fundamentales o característicos de funcionamiento cuando son instalados en un automóvil para su aplicación final”.

(Calleja, 2015) menciona: “Estos parámetros se obtienen en un banco de pruebas o de ensayos en función de diferentes regímenes de giro y grados de carga”.

### 2.2.1. Par motor ( $M$ )

(Gutierrez, 2012) afirma que: “Se denomina par motor ( $M$ ) al efecto de rotación producido por una fuerza sobre un brazo de palanca. Se calcula como el producto de dos valores: por un lado, la fuerza de empuje aplicada al conjunto pistón, biela y manivela, y por otro lado la distancia del eje de dicha fuerza al eje de giro del cigüeñal”.

$$M = F * d$$

#### Ecuación 1: Par motor

Donde:

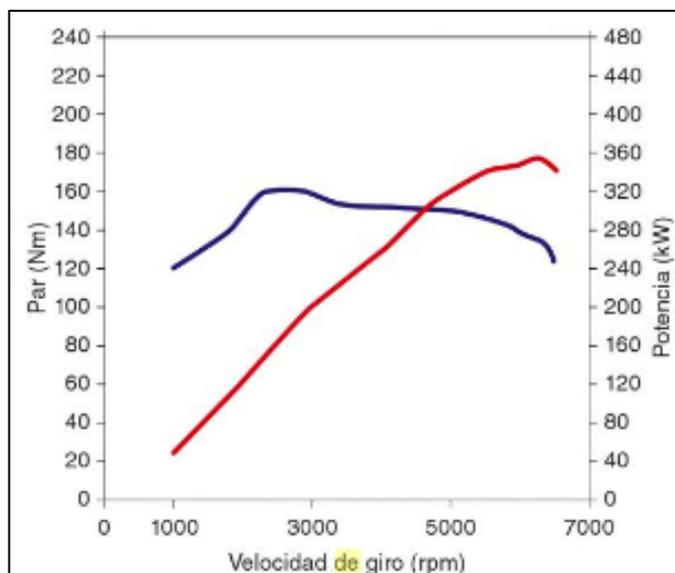
$M$  es el par, en ( $N_m$ )

$F$  es la fuerza, en ( $N$ )

$d$  es la distancia al eje de giro, en ( $m$ )

El par motor se expresa en  $N_m$  cuando se utiliza el S.I (sistema internacional). En algunas ocasiones se puede expresar en  $Kg_m$  o también en  $HP$  (horse power – caballos de fuerza).

(Gutierrez, 2012) expresa: “En síntesis, la curva de par debería ser una línea horizontal, pero se convierte en una curva con un tramo central prácticamente plano y con unos extremos donde decrece. A bajas revoluciones el llenado del cilindro no es el más adecuado por la escasa velocidad de los gases. Por tanto, la combustión no es óptima. Por otro lado, cuando el régimen es elevado, el tiempo que se dispone para llenar el cilindro es insuficiente y la curva decrece también “.



**Figura 2: Curva característica de par motor (azul) y potencia (rojo).**

Fuente: (Gutierrez, 2012)

### 2.2.2. Potencia ( $N$ )

(Calleja, 2015) indica: “La potencia se define como trabajo  $W$  realizado por unidad de tiempo  $t$ ”.

$$N = \frac{W}{t}$$

#### Ecuación 2: Potencia

Donde:

$N$  es la potencia, en watos ( $W$ ).

$W$  es el trabajo, en julios (J).

$t$  es el tiempo, en segundos (s).

Otra manera de encontrar la potencia es convertir la frecuencia de giro que normalmente son la *r. p. m.* en frecuencia angular, para obtener el tiempo que tarda en desenvolver el trabajo debido al par formado.

$$N = M * \omega$$

Donde:

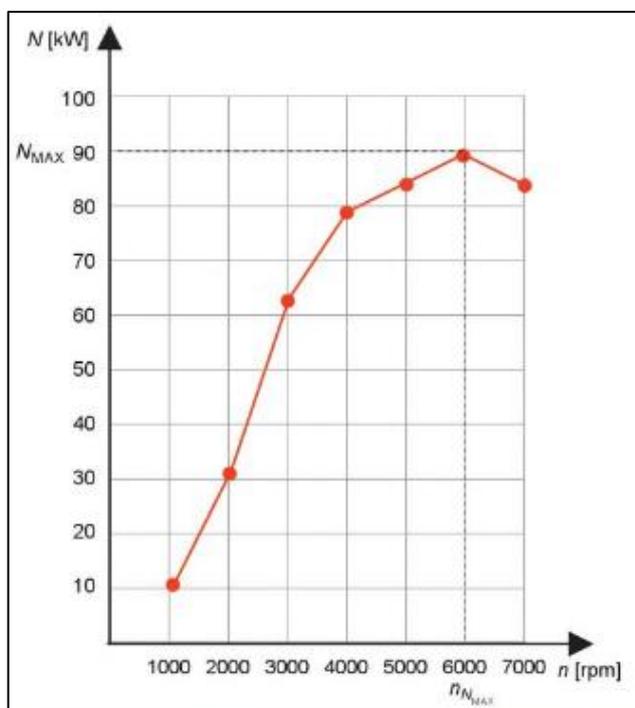
$N$  es la potencia, en watios ( $W$ ).

$M$  es el par, en ( $N_m$ )

$\omega$  es la frecuencia angular en radianes por segundo,  $\left(\frac{rad}{seg}\right)$

(Calleja, 2015) cita “La potencia obtenida a partir del banco dinamométrico 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”.

En las últimas décadas los fabricantes quieren conseguir una potencia efectiva elevada con un peso del automóvil liviano.



**Figura 3: Curva característica de potencia.**

Fuente: (Calleja, 2015)

### 2.2.3. Consumo específico de combustible ( $c_e$ )

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

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

#### Ecuación 3: Consumo específico de combustible

Donde:

$c_e$  es el peso específico, en  $\frac{gr}{kWh}$  o  $\frac{kg}{kWh}$ .

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

$N_e$  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.

- **Método volumétrico**

Gravita en medir el tiempo necesario para gastar un volumen conocido de combustible.

La técnica más simple para calcular el volumen de combustible, este sistema utiliza una probeta graduada en relación con un depósito de combustible y además un reloj.

Unos de los problemas 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.

- **Método gravimétrico**

Se utiliza este método en ensayos que sean certificados además el banco dinamométrico de rodillos será destinado a cualquier proyecto de investigación. Radica en medir el tiempo en consumir una proporción de combustible efectiva en una balanza de exactitud.

#### 2.2.4. Presión media efectiva (*pme*)

(Casado, 2009) expresa que “Cuando se haya obtenido la potencia que es efectiva la cual es determinada en el banco dinamométrico 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:

$$P_{mc} = \frac{T}{V_h} * i$$

#### Ecuación 4: Presión media efectiva

Donde;

$V_T$  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.

El valor de la presión media efectiva puede variar en los vehículos automotores ya sea los que funcionan a gasolina o a diésel.

**Tabla 3.**  
**Valores de presión media efectiva.**

Presión media efectiva ( <i>pme</i> )	
Motor	Valor
Gasolina	8 – 14 $\frac{kg}{cm^2}$
Diésel	7 – 18 $\frac{kg}{cm^2}$

Fuente (Sanz, 2011)

### 2.2.5. Elasticidad

Parámetro que mide el grado de rendimiento de un motor según van avanzando sus revoluciones o régimen de giro.

El motor de combustión interna debe ofrecer su torque o par máximo en todo el rango de revoluciones, pero eso no sucede así el par máximo se logra a una determinada revolución o régimen de giro.

(Bello, 2011) menciona: “Se puede comprender que la elasticidad es la capacidad de respuesta que tiene el motor cuando se le demanda potencia a bajo y medio régimen de giro, es decir, que un motor será más elástico cuando recupera aceleración enérgicamente sin la necesidad de recurrir al cambio de marchas en la transmisión”.

Mientras más elasticidad posea un motor, superior será su rendimiento ante transiciones de carga

(Sanz, 2011) manifiesta que “Para realizar el cálculo de la elasticidad existe una relación entre la potencia entregada a bajas y medias revoluciones y la potencia entregada a altas revoluciones en condiciones de plena carga” y se tiene la siguiente expresión:

$$E = \frac{M_{max}}{M_{Nmax}} * \frac{n_{Nmax}}{n_{Mmax}}$$

#### Ecuación 5: Coeficiente de elasticidad

Donde:

$E$  elasticidad, no posee unidades

$M_{max}$  el par máximo en  $N * m$

$M_{Nmax}$  el par entregado al régimen de potencia máxima  $N * m$

$n_{Nmax}$  revoluciones a potencia máxima  $rpm$

$n_{Mmax}$  revoluciones a par máximo  $rpm$

**Tabla 4.**  
**Valores de elasticidad de un motor de combustión interna.**

Elasticidad ( $E$ )	
Elasticidad baja	< 2
Elasticidad media	2– 2,5

Continua 

---

Elasticidad alta	>2,5
------------------	------

---

**Fuente:** (Sanz, 2011)

### 2.2.6. Velocidad media del pistón ( $c_m$ )

(Álvarez, Agramunt, & Farrús, 2005) mencionan lo siguiente: “Cuando se realiza el diseño de un motor se toma en consideración como punto importante es la velocidad del pistón además que influye en la duración del mismo”.

A mayor velocidad del motor el pistón tendrá un desplazamiento más rápido a lo largo de su carrera por lo que el desgaste será mucho mayor.

Para evitar una degeneración prematura del motor, la velocidad media del pistón debe ser inferior a  $18 \frac{m}{s}$ . Para realizar el cálculo se expresa de la siguiente manera:

$$c_m = 2 * S * n$$

#### **Ecuación 6: Velocidad media del pistón**

Donde:

$c_m$  velocidad lineal media del pistón  $m/s$

$S$  carrera del pistón en  $m$

$n$  régimen de giro en  $rpm$

Hay que recalcar que la velocidad media del pistón se da en un tramo determinado entre el PMS y el PMI, en estos puntos la velocidad tiene un valor de 0.

### 2.3. Obtención de las curvas características del motor

Para la obtención de las curvas características del motor de combustión interna se deben realizar las pruebas en un banco dinamométrico, con este fin se podrá tener una visión más amplia de los parámetros fundamentales.

En el banco dinamométrico se obtendrá tres parámetros fundamentales los cuales son: potencia, par motor y consumo específico de combustible, una

vez obtenidos estos parámetros se podrá calcular el resto de parámetros fundamentales.

También para realizar el resto de cálculos se debe tener en cuenta las siguientes características técnicas previamente establecidos por el fabricante del auto.

- $V_T$  = Cilindrada total
- $D$  = Diámetro del cilindro
- $S$  = Carrera
- $\varepsilon$  = Relación de compresión

Las condiciones atmosféricas deben ser las siguientes:

- $T_{amb}$  = Temperatura ambiente
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica

Y los datos del combustible a utilizar

- $\rho_c$  = Densidad del combustible
- $H_c$  = Poder calorífico del combustible
- $\gamma$  = Coeficiente adiabático

#### 2.4. Rendimiento del motor de combustión interna

Cuando se habla de rendimiento en un motor de combustión interna se refiere al trabajo que se extrae por unidad de energía consumida.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía obtenida}}{\text{Energía aportada}} * 100\%$$

#### Ecuación 7: Rendimiento del motor de combustión interna

(Gutierrez, 2012) menciona: "Si el trabajo producido por el motor aplicado al cigüeñal fuese igual a la energía desprendida por el combustible consumido, se diría que el rendimiento es del 100% o que tiene una eficiencia ideal Rendimiento térmico ideal ( $\eta_c$ )".

Un rendimiento térmico ideal es aquel que cuanto mayor sea la temperatura alcanzada en la combustión y las pérdidas de calor sean menores.

(Sanz, 2011) manifiesta: “La cantidad de calor obtenida está en función de la masa de combustible consumida por unidad de tiempo  $\dot{m}_f$  y del poder calorífico de este  $H_c$ ”.

$$\eta_t = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{P_a \varepsilon^k (\gamma - 1)}$$

### **Ecuación 8: Rendimiento térmico**

El rendimiento térmico  $\eta_c$  se puede definir como la relación entre la potencia efectiva  $N$  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%.

#### **2.4.1. Rendimiento mecánico ( $\eta_m$ )**

(Sanz, 2011) “El rendimiento mecánico se lo expresa como la relación que hay entre la potencia indicada que se obtiene en el diagrama de trabajo indicado  $N_i$  y la potencia efectiva  $N$  la cual se obtiene en el eje del motor del banco dinamométrico”.

La forma de expresión del rendimiento mecánico es la siguiente:

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

### **Ecuación 9: Rendimiento mecánico**

Las de pérdidas de carácter mecánico que se toman en consideración para la determinación del rendimiento mecánico son las siguientes:

- Energía utilizada en transferir el desplazamiento del pistón hasta la salida del eje, esencialmente en la fricción que existe en los segmentos con el cilindro y cojinetes de bancada y biela.
- Otra parte de consumo de energía está en la distribución, bomba de agua y aceite, etc.

El acumulado total de pérdidas mecánicas en los motores de combustión interna se encuentran alrededor de 10% hasta un 15%.

#### 2.4.2. Rendimiento efectivo ( $\eta_e$ )

(Sanz, 2011) menciona: “El balance entre el total de pérdidas y el 100% de la energía contenida en el combustible consumido dan lugar al rendimiento efectivo del motor”.

**Tabla 5.**  
**Pérdidas en el motor de combustión interna.**

	OTTO	DIÉSEL
<b>Pérdidas térmicas</b>	60% - 65%	50% - 60%
<b>Pérdidas mecánicas</b>	10% - 15%	10% - 15%
<b>Total pérdidas</b>	70% - 75%	60% - 70%
<b>Rendimiento efectivo</b>	25% - 30%	30% - 40%

Fuente: (Sanz, 2011)

#### 2.4.3. Rendimiento indicado ( $\eta_i$ )

El rendimiento indicado sirve para comparar el rendimiento general del motor.

$$n_i = \frac{n_t}{n_m}$$

#### Ecuación 10: Rendimiento Indicado

### 2.5. Bujías de encendido

(Reif, 2015) manifiesta: “La mezcla de aire - combustible en un motor que funciona a gasolina, mezcla se enciende eléctricamente gracias a su encendido que es producido por una chispa. La energía eléctrica extraída de

la batería se almacena temporalmente en la bobina de encendido para este propósito. El alto voltaje generado dentro de la bobina produce una descarga disruptiva entre los electrodos de bujía ubicada en la cámara de combustión del motor. La energía contenida en la chispa entonces enciende la mezcla aire - combustible comprimida”.

La función de la bujía es introducir la energía de encendido en la cámara de combustión del motor, para producir una chispa entre los electrodos para iniciar la combustión de la mezcla aire – combustible.



**Figura 4: Bujía de encendido en un motor a gasolina.**

Fuente: (Reif, 2015)

Las bujías de encendido deben ser diseñadas para garantizar un aislamiento positivo entre la chispa y la culata, y también el sellado de la cámara de combustión.

(Kaleli, Akif, & Erenturk, 2014) manifiestan que “En combinación con los demás componentes del motor, tales como los sistemas de encendido y la formación de mezcla aire - combustible, la bujía juega un papel crucial en la determinación del funcionamiento eficaz del motor a gasolina”.

La bujía de encendido también debe:

- Facilitar un arranque en frío fiable.
- Asegurar un funcionamiento consistente con ninguna falla de encendido durante toda su vida útil
- No calentarse demasiado bajo operación extendida o cerca de la velocidad máxima.

Todos los fabricantes de bujías tienen la disposición de fabricar bujías de encendido para una extensa gama de motores que existen en el país y alrededor del mundo, para ellos se elaboran electrodos centrales de diferentes materiales.

Los materiales más utilizados para la fabricación de bujías de encendido son las aleaciones a base de níquel, también las que poseen el núcleo central de cobre, estos materiales se caracterizan por una buena disipación del calor y una alta resistencia a la corrosión.

Un electrodo central de plata presenta una conductividad térmica aun mayor que las de cobre y níquel.

Los materiales especiales utilizados son el platino e iridio los cuales ofrecen una resistencia optima a la chispa y prolonga la vida útil de la bujía en los intervalos de cambio.

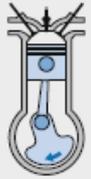
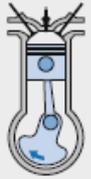
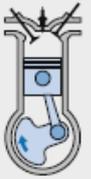
#### **2.5.1. Requerimientos de rendimiento eléctrico.**

(Reif, 2015) indica: “Durante el funcionamiento en sistemas de encendido electrónico, bujías deben manejar voltajes de hasta 30,000V sin descarga disruptiva en el aislador. Residuos del proceso de combustión, tales como el hollín, carbono y ceniza de aditivos de combustible y aceite, pueden ser conductor de la electricidad en determinadas condiciones térmicas. Aún en estas mismas condiciones sigue siendo imprescindible que la descarga disruptiva a través del aislante sea evitada”.

#### **2.5.2. Requerimientos de rendimiento mecánicos.**

(Reif, 2015) menciona: “La bujía de encendido debe ser capaz de soportar picos de presión periódicas (hasta alrededor de 100 bar) en la cámara de combustión, mientras que todavía proporciona un sellado de gas eficaz. También se requiere alta resistencia a los esfuerzos mecánicos del aislador de cerámica, que está expuesta a cargas durante la instalación, así como del conector de la bujía de encendido y el cable de encendido en si durante el funcionamiento”.

El cuerpo de la bujía debe soportar el par aplicado durante la instalación sin ninguna deformación permanente.

Four-stroke engine				
Cycle phase	Com-pression	Combustion and work	Exhaust	Intake
Gas temp.	300... 600 °C	2000... 3000 °C	1300... 1600 °C	...120 °C
Gas pressure	8...15 bar	30...50 bar	1...5 bar	0.9 bar
Piston position				
Crankshaft angle	0° TDC	180° BDC	360° TDC	540° BDC
				720° TDC

**Figura 5: Temperatura y presiones de la bujía de encendido.**

Fuente (Reif, 2015):

### 2.5.3. Requerimientos de rendimiento de productos químicos.

(Bosch, 2002) menciona que: “Debido a que la bujía se extiende dentro de una cámara de combustión lo suficientemente caliente para hacer un resplandor rojo, que se expone a las reacciones químicas que ocurren a temperaturas extremas. Las sustancias del combustible pueden formar depósitos de residuos agresivos en la bujía, que afecta a sus características de rendimiento”.

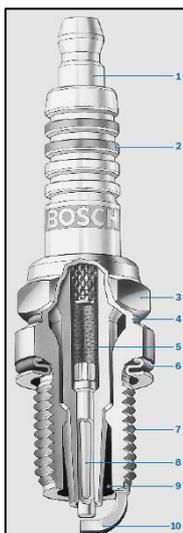
### 2.5.4. Requerimientos de rendimiento térmico.

En funcionamiento, la bujía debe absorber alternativamente calor de los gases de combustión calientes y luego soportar las mezclas de aire / combustible entrantes fríos en rápida sucesión. Esta es la razón por la que los aisladores deben mostrar inmensa resistencia al choque térmico.

Los componentes o partes esenciales de una bujía de encendido son las siguientes:

1. Terminal de conexión
2. Aislador de cerámica
3. Cuerpo

4. Zona de contracción térmica
5. Vidrio conductor
6. Junta anular
7. Forma de rosca
8. Electrodo central
9. Espacio de aire
10. Electrodo de masa



**Figura 6: Componentes de una bujía de encendido.**

Fuente: (Reif, 2015)

### 2.5.5. Distancia entre electrodos

(Denton, 2016) expresa lo siguiente: “La distancia más corta entre los electrodos centrales y de tierra se denomina distancia entre electrodos, la separación de los electrodos determina, entre otros, la longitud de la chispa. Cuanto menor sea la distancia entre los electrodos, menor es la tensión que se requiere para generar una chispa”.

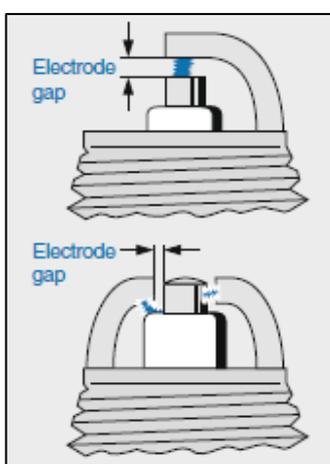
Una distancia óptima entre los electrodos de las bujías de encendido en general está especificada en el manual de fabricante, en algunos casos de acuerdo a la forma, materiales entre otros aspectos dicha distancia se especifica en manuales de los fabricantes de bujías.

(Melchor, 2012) menciona que “Es sustancial conservar una distancia entre electrodos con la máxima exactitud, ya que si el espacio no es el correcto

puede afectar categóricamente la función de la bujía y, por consiguiente, al rendimiento del motor de combustión interna”.

Si la separación entre electrodos es escasa, puede tener como resultado una inflamación insuficiente, un ralentí inestable y los gases de escape serán mayores a los permitidos.

Cuando la distancia entre electrodos es mayor a la especificada, puede incitar fallos al encendido. En las bujías de varios electrodos no es necesario calibrar la distancia de electrodos debido a la posición de chispa acomodada.



**Figura 7: Distancia entre electrodos.**

Fuente: (Reif, 2015)

### 2.5.6. Posición y trayecto de la chispa

El funcionamiento de la bujía de encendido está influenciado por tres causas principales:

- Posición de la chispa
- Distancia de la chispa
- Distancia entre electrodos

Los principales fabricantes de motores de combustión interna se refieren a la posición de la chispa como la estructura del recorrido de chispa es decir como esta se extiende hasta la cámara de la combustión.

Se distingues varias formas de trayecto de la chispa en la bujía de encendido los cuales son:

- Chispa aérea

- Chispa deslizante
- Chispa variable (aérea/deslizante)

Cuando se refiere a la chispa aérea el recorrido que toma es entre los electrodos tanto el central como el de masa para encender la mezcla aire – combustible.

En la chispa deslizante el recorrido que atraviesa primero pasa por la superficie de la punta del aislador, luego salta en el electrodo de masa, la ventaja de que bujía produzca este tipo de chispa es la eliminación de hollín formado en la cámara de combustión y elimina quemando sedimentaciones.

Una chispa variable la cual puede ser aérea que se produzca en el aire o también salta del aislador al electrodo de masa, cuando se produce cualquiera de los trayectos tiene una ventaja enorme en la alargar la vida útil de la bujía de encendido.

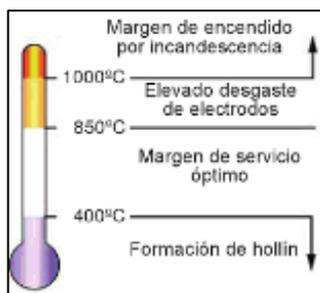
### **2.5.7. Valor térmico**

(Bello, 2011) menciona: “La principal característica que puntualiza a una bujía de encendido es su designado grado térmico, es la capacidad de evacuación de calor que posee”.

Siempre la bujía debe trabajar en un rango de temperatura donde se produce la nombrada autolimpieza, impidiendo así el depósito de carbonilla y diferentes sustancias químicas en los electrodos.

El límite de autolimpieza de una bujía comprende un rango de temperatura de 400 y los 850 °C, debajo de esta temperatura se van a acumular depósitos de hollín en los electrodos y así se reducirá su vida útil.

Por arriba de los 850°C existe un grave riesgo de autoinflamación de la mezcla con el peligro de dañar arduamente el motor”.



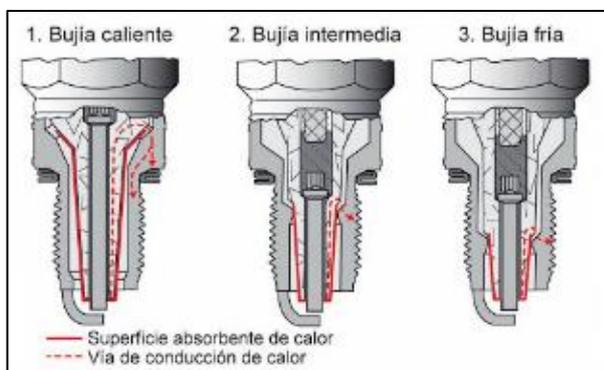
**Figura 8: Temperatura de funcionamiento de una bujía.**

Fuente: (Bello, 2011)

(Bello, 2011) menciona que “Existen varios factores que influyen en el grado térmico de la bujía un ejemplo claro es el material de fabricación de electrodo central, la forma y el número de los electrodos de masa y el pie del aislador”.

De acuerdo a la forma del aislador las bujías de encendido se clasifican en las siguientes formas o grados térmicos:

- Grado térmico alto.
- Grado térmico medio.
- Grado térmico bajo.



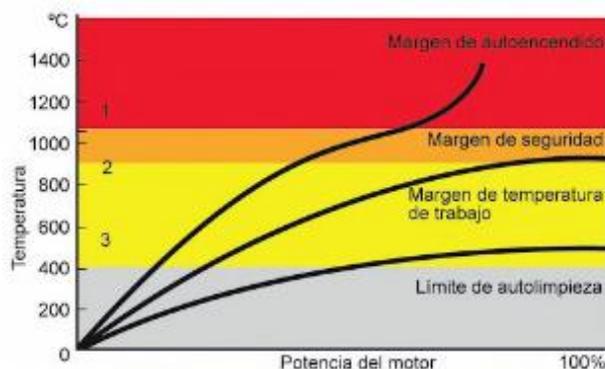
**Figura 9: Disipación de calor de acuerdo a la forma del aislador.**

Fuente: (Calleja, 2015)

(Calleja, 2015) menciona: “Cuando el pie del aislador es largo el calor tiene que recorrer un gran camino desde la zona de absorción a la zona de cesión, por lo que tiene poca capacidad de evacuarlo. Este tipo de bujías es adecuado para motores de baja compresión, poca potencia y reducidas temperaturas de la cámara de combustión”.

El pie del aislador es de tamaño mediano, mejoran la capacidad de disipar calor, las cuales se emplean en motores de prestaciones medias.

Existen bujías de encendido con el pie del aislador corto va a evacuar el calor mucho más rápido que una de aislador largo, este tipo de bujías se utilizan en motores de alta relación de compresión, altas potencias un ejemplo son los vehículos de competencia.



**Figura 10: Comportamiento térmico de la bujía de acuerdo a la potencia del motor.**

Fuente: (Calleja, 2015)

## 2.6. Bobinas de encendido

(Reif, 2015) menciona lo siguiente: “Dentro del sistema de encendido, la bobina de encendido es el componente responsable de convertir la tensión de batería baja en el alto voltaje requerido para generar la descarga disruptiva en la bujía. La bobina de encendido funciona sobre la base de la inducción electromagnética: La energía almacenada en el campo magnético del arrollamiento primario este se transmite por inducción magnética al lado arrollamiento secundario”.

(Bosch, 2002) menciona: “La alta tensión y la energía de ignición necesaria para encender la mezcla de aire / combustible deben ser generados y almacenados antes de la combustión. La bobina actúa como un dispositivo de doble función, al servir como tanto transformador y acumulador de energía”.

Se almacena la energía magnética en el campo magnético generado por la corriente primaria y luego libera esta energía cuando la corriente

primaria se desactiva en el momento de la ignición. La bobina debe corresponder exactamente a los otros componentes en el sistema de encendido (cables de encendido y bujías).

Consideraciones importantes en el diseño del sistema de encendido incluyen las interacciones de los parámetros del sistema individuales con el paso de excitación de encendido, la bobina de encendido y la bujía de encendido, así como las demandas específicas asociadas con el concepto de diseño del motor.

### **2.6.1. Requerimientos**

(Reif, 2015) dice que: “La pérdida de ignición y la combustión incompleta de la mezcla aire - combustible, conducen a aumentos en las emisiones de hidrocarburos, los cuales deben ser evitados. Por tanto, es esencial disponer de bobinas que proporcionan consistentemente niveles adecuados de energía de encendido durante toda su vida de servicio. Además de estas consideraciones, las bobinas también deben adaptarse a la configuración de la geometría y el diseño del motor”.

La bobina de encendido está sujeta a severas demandas de rendimiento como eléctricas, químicas y mecánicas, sin embargo, todavía se espera proporcionar un funcionamiento a fallos y libre de mantenimiento durante toda la vida útil del vehículo. Dependiendo de donde están instalados en el vehículo a menudo directamente en la culata - bobinas de encendido de hoy deben ser capaces de operar bajo las siguientes condiciones:

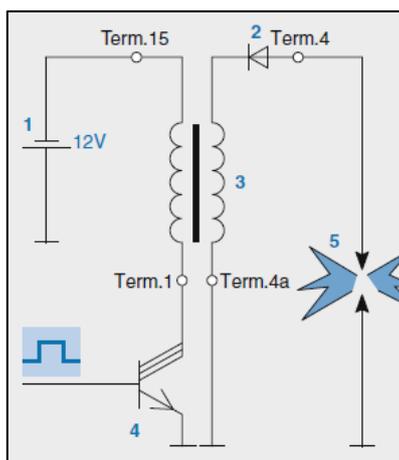
- Gama de temperaturas de - 40 hasta 150 ° C.
- Tensión secundaria hasta 30,000V.
- Corriente principal entre 7 y 15 Amp.
- Vibración dinámica de carga de hasta 50 g.
- Resistencia duradera a diversas sustancias (gasolina, aceite, líquido de frenos, etc.)

### 2.6.2. Diseño y método de operación

La bobina de encendido funciona de acuerdo con el principio de un transformador. Dos arrollamientos que rodean un núcleo de hierro compartido.

El arrollamiento primario consiste en un alambre grueso con un número relativamente pequeño de vueltas. Un extremo del arrollamiento está conectado al terminal positivo de la batería (1) a través del interruptor de encendido (borne 15). El otro extremo (terminal 1) está conectado a la etapa de excitación de encendido la cual es monitoreada por la ECU (4) para controlar el flujo de la corriente primaria.

El arrollamiento secundario se compone de alambre delgado con un mayor número de vueltas. La relación de vueltas por lo general oscila entre 1:50 y 1: 150.



**Figura 11: Principio de generación del alto voltaje por la bobina de encendido.**

Fuente: (Reif, 2015)

### 2.6.3. Generación de alta tensión

(Bosch, 2002) menciona: “La unidad de control del motor ECU activa la etapa piloto de encendido para el tiempo de reposo calculado. Durante este tiempo la corriente primaria de la bobina alcanza su valor teórico lo cual va a generar un campo magnético”.

(Bosch, 2002) manifiesta: “En el momento de encendido el controlador interrumpe el flujo de corriente, a causa del cambio del campo magnético se

induce la tensión secundaria en el arrollamiento secundario de la bobina. La tensión secundaria máxima posible depende de la energía acumulada en la bobina, de la capacidad interna y de la relación de transformación de la bobina, de la carga del secundario (bujía de encendido) y de la limitación de la tensión del primario por el controlador de ignición”.

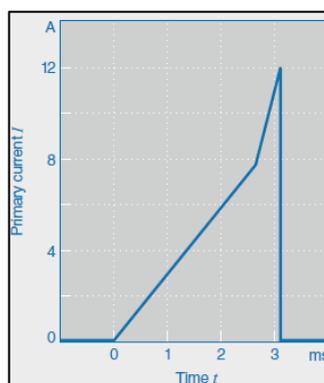
La tensión secundaria debe ser mayor a la solicitada para el salto de la chispa. Dicha energía tiene que ser lo suficientemente alta para inflamar la mezcla.

(Reif, 2015) indica: “Cuando se activa la corriente primaria, una tensión no deseada de más o menos 1 a 2 kV (kilo voltios) se induce en el arrollamiento secundario (interruptor de tensión); su polaridad es opuesta a la de la alta tensión. Un salto de chispa en la bujía deberá ser evitado”.

#### 2.6.4. Generación de campo magnético

(Reif, 2015) indica: “Un campo magnético se genera en el arrollamiento primario en cuanto el controlador completa el circuito. La autoinducción crea una tensión inductiva en este bobinado, que según la ley de Lenz se opone a la causa - es decir, la generación del campo magnético.”

Esta regla explica por qué la velocidad a la que se genera el campo magnético es siempre relativamente baja en relación con la sección transversal del hierro y el arrollamiento (inductancia).



**Figura 12: Curva de la corriente primaria en la bobina de encendido.**

Fuente: (Reif, 2015)

(Reif, 2015) indica: “La corriente primaria seguirá aumentando mientras que el circuito permanece cerrado; fuera de un cierto flujo de corriente, se produce la saturación magnética en el circuito magnético. El nivel actual se determina por el material ferromagnético usado. La inductancia cae y el flujo de corriente aumenta más bruscamente. Las pérdidas dentro de la bobina de encendido también se elevan abruptamente. Por tanto, es conveniente contar con el punto de funcionamiento en lo posible por debajo del nivel magnético de saturación. Esto se determina por medio del periodo de reposo.”

### **2.6.5. Circuito magnético**

(Casado, 2009) menciona que: “El material más utilizado en las bobinas de encendido es de chapa de acero eléctrico, procesado en varias profundidades de capa y de varias especificaciones. En función de lo que es necesario de la misma, el material es o bien de grano orientado (alta densidad de flujo máxima, caro) o no - grano - orientado (densidad de flujo máxima baja)”.

Laminación de hojas con profundidades de capa de 0,3... 0,5 mm se utiliza con mayor frecuencia. Mutuamente placas de aislamiento se utilizan para reducir las pérdidas corrientes parásitas. Las placas están estampadas, combinadas en conjuntos de láminas y unidas entre sí; este proceso proporciona el espesor requerido y la forma geométrica.

La mejor geometría posible que el circuito magnético debe estar definido para obtener los datos de rendimiento eléctrico deseado para una bobina de encendido de cualquier geometría dada.

### **2.6.6. Encendido en las bujías**

La activación de la corriente primaria cambia los gradientes de corriente para producir un cambio repentino en el flujo magnético en el núcleo de hierro. Esto induce tensión en el bobinado secundario. Debido a que el gradiente para el cambio de corriente es positivo, la polaridad de esta la polaridad del voltaje se opone a la de la alta tensión inducida cuando el circuito se desconecta.

(Reif, 2015) menciona: “Debido a que este gradiente es muy pequeño en relación con los gradientes que se producen cuando se desactiva la corriente primaria, la tensión inducida es relativamente baja, a pesar de la relación de grandes giros derivados de la desigualdad en los números de giro entre los dos arrollamientos. Se encuentra dentro de un intervalo de 1... 2 kV, y podría ser suficiente para promover la generación de la chispa y de encendido de la mezcla bajo diferentes condiciones. Para evitar posibles daños al motor, evitando una combustión súbita (encendido por chispa) en la bujía es vital.”

### **2.6.7. Generación de calor en la bobina**

La eficiencia, que se define como la energía secundaria relativa a disposición de la energía primaria almacenado, es del orden de 50... 60%. Bajo determinadas condiciones de contorno, bobinas de encendido de alto rendimiento para aplicaciones especiales pueden lograr niveles de eficiencia de hasta el 80%.

La diferencia de energía se convierte en calor principalmente a través de las pérdidas de resistencia en los arrollamientos, así como las pérdidas de la desmagnetización y corrientes parásitas.

(Bosch, 2002) afirma: “Un controlador integrado directamente en la bobina puede representar otra fuente de pérdida térmica. La corriente primaria provoca una caída de tensión en el material semiconductor, dando lugar a eficiencia perdida. Una pérdida de energía adicional y completamente significativa es atribuible al comportamiento de conmutación cuando se desactiva la corriente primaria, especialmente cuando el controlador es "lento" a su respuesta dinámica”.

Tensiones secundarias altas son generalmente limitadas por la restricción de la tensión primaria en el controlador, donde parte de la energía almacenada en la bobina se disipa en forma de pérdida térmica.

### **2.6.8. Circuito primario**

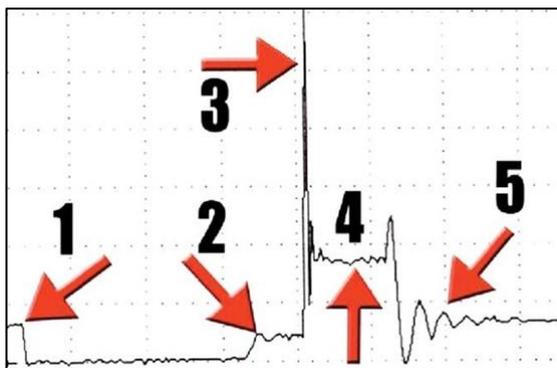
(Goms, 2012) cita: "El circuito primario de la bobina de encendido incluye voltaje de la batería (12 voltios) y el control de masa se produce por un transistor de potencia que controla el flujo de corriente primaria. Para crear la chispa, el transistor de potencia esta comandado por el módulo de control del tren motriz (PCM) para formar un campo magnético en la bobina al conectar a tierra el circuito primario."

La "saturación" se produce cuando se forma el campo magnético. La PCM entonces ordena el transistor de potencia interrumpir el circuito primario y que el campo magnético se colapse, lo cual creara una chispa de encendido.

### **Oscilograma del circuito primario**

Empezar con una buena visión general de lo que constituye una forma de onda de encendido (véase la Figura 13 para las diferentes partes de una forma de onda de encendido.)

1. El transistor interno a la PCM se cierra. Por lo que la tensión cae cerca de la tierra y, esencialmente, permanece allí hasta que la chispa de disparo.
2. La bobina está ahora saturada con electricidad, como se indica por el salto de la tensión. La bobina ya no se está cargando gracias a la ECM / PCM.
3. Se abre el interruptor de PCM, desatando toda la corriente acumulada. La corriente cae como una roca y se dispara la tensión.
4. La línea de la chispa indica la longitud del acontecimiento de chispa en la bujía.
5. Cuando queda sin energía suficiente para la chispa, la energía restante se agota y el evento comienza de nuevo.



**Figura 13: Oscilograma del circuito primario.**

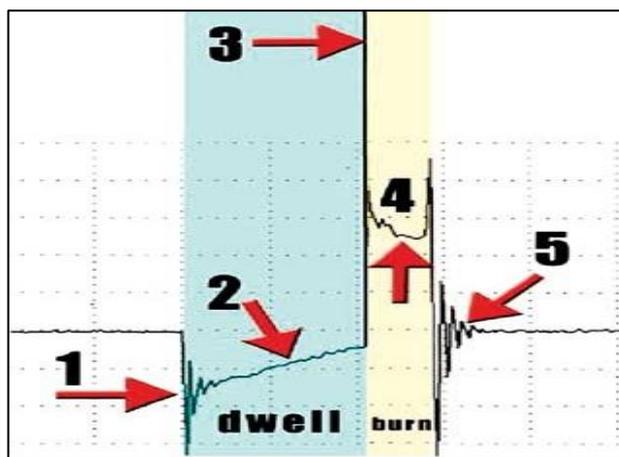
Fuente: (Portillo, 2012)

### 2.6.9. Circuito secundario

(Pérez, 2014) menciona: “Por lo que respecta a la señal del secundario, tener en cuenta que esta es función directa de la variación de la corriente que circula por la bobina, por lo cual en el momento de cierre del transistor tiene un crecimiento brusco de la corriente, lo que provoca las oscilaciones”.

#### Oscilograma del circuito secundario

1. La bobina se comienza a cargar completamente de corriente. Las oscilaciones son interferencia magnética de una bobina de encendido de trabajo.
2. Durante el periodo de reposo, la tensión se acumula muy lentamente.
3. La bobina de encendido desata la totalidad de su corriente en el lado secundario de la misma. Se dispara la tensión e instantáneamente la chispa salta entre la distancia de los electrodos (central y masa).
4. La línea de la chispa debe ser relativamente alta en el voltaje. Su duración es el tiempo de quemado.
5. Las oscilaciones se producen cuando no hay suficiente poder para continuar la chispa y cualquier energía restante es expulsado.



**Figura 14: Oscilograma del circuito secundario.**

Fuente: (Portillo, 2012)

### 2.6.10. Cálculo de bobinas

(Bello, 2011) manifiesta: “El hecho de disponer el primario enrollado sobre el secundario, mejora las cualidades mecánicas del conjunto, ofreciendo, además una mejor disipación del calor que se genera por efecto Joule, ya que el primario está más próximo al exterior. En su interior, como elementos aislantes, se dispone el papel parafinado, la resina, el asfalto o aceite de alto valor aislante, que además sirve para refrigerar el conjunto.”

(Bello, 2011) menciona: “La relación entre el número de espiras de ambos determina la llamada relación de transformación, que es la relación existente entre la f.e.m. del primario y la f.e.m. del secundario. Dado el número de espiras que suelen disponer en cada arrollamiento, la relación de transformación oscila en torno a 100.”

$$\text{Relación de transformación} = \frac{N^{\circ} \text{ espiras secundario}}{N^{\circ} \text{ espiras primario}}$$

#### **Ecuación 11: Relación de transformación**

Y también se puede determinar a partir de los voltajes de ambos arrollamientos:

$$RT = \frac{\text{Voltaje secundario}}{\text{Voltaje primario}}$$

#### **Ecuación 12: Relación de transformación con voltajes**



inicial. Si el voltaje inicial aumenta el tiempo de quemado disminuye. Si el voltaje inicial disminuye, el tiempo aumenta”.

(Portillo, 2012) dice que: “Existe un parámetro importante para mantener el tiempo de quemado estable y es conocido como “Spark KV” o “voltaje de chispa”, esto representa el voltaje requerido para que requiere el tiempo de quemado para mantener la chispa en la bujía de encendido”.

El voltaje de la chispa normal debería oscilar en 1 kV hasta 4 kV. Un valor excesivo indica que el circuito secundario posee una resistencia alta. Cuando el valor es muy indica que el secundario posee una resistencia baja.

### **2.7.1. Fases de la combustión de la mezcla**

El proceso de combustión de la mezcla aire – combustible debe realizarse en una secuencia adecuada, la cual requiere de ciertas condiciones físicas para obtener el mayor rendimiento energético y potencia mecánica posible y lo cual se refleja en las siguientes cuatro etapas:

- Salto de la chispa
- Inicio de la combustión
- Proceso de la combustión
- Fin de la combustión

(Melchor, 2012) manifiesta: “Cuando el proceso de combustión tenga el mayor rendimiento energético significa que el proceso debe ser capaz de liberar la máxima energía posible de la mezcla que existe en la cámara de combustión y que la mayor parte de esa energía liberada se transforme en energía mecánica minimizando las pérdidas.”

- **Salto de la chispa**

La chispa salta entre la separación de los electrodos de la bujía, eso se produce gracias a que la mezcla aire- gasolina es conductora de la electricidad cuando está sometida a tensiones eléctricas altas que pueden llegar hasta 35 kilo voltios. El número de chispas de un automóvil suele estar entre los rangos de 7 y 50 esto varía con las revoluciones del motor.

(Melchor, 2012) indica: “La chispa de saltar en el preciso momento por lo general en los motores de combustión interna será cuando el pistón se encuentre el momento de terminar su proceso de compresión, así existe condiciones de temperatura y presión de la mezcla que favorecen la inflamación.”

- **Inicio de la combustión**

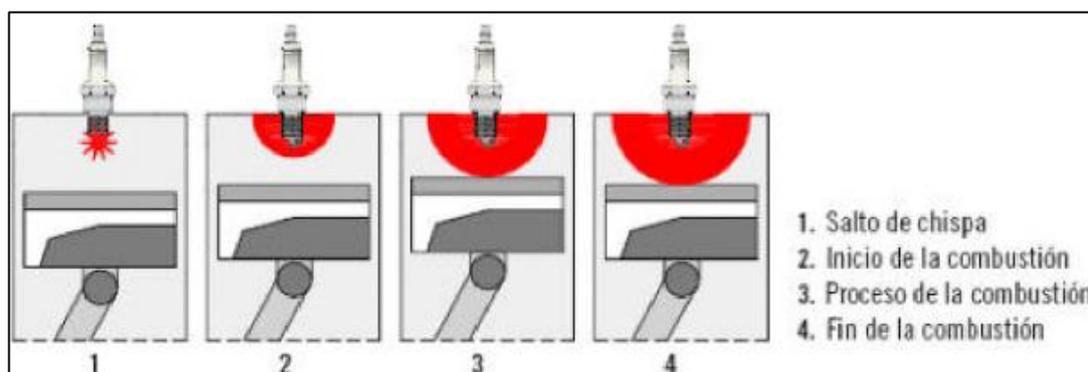
(Melchor, 2012) menciona: “En este preciso momento en el cual la energía liberada por la chispa que salta entre los electrodos comienza el proceso de combustión de la mezcla aire – gasolina. Se inflama la mezcla más cercana a la chispa y posteriormente hay un proceso muy rápido de combustión. Es primordial que este proceso se produzca en el momento oportuno ya que no de ser así existirá pérdida de potencia y rendimiento del motor.”

- **Proceso de la combustión**

La mezcla libera energía, realizando la transformación de energía química en energía mecánica, esta energía comprendida en la mezcla se convierte en calor y la presión en la cámara aumentará empujando al pistón hacia el PMI con lo cual se produce trabajo mecánico.

- **Fin de la combustión**

Con una liberación por completo de energía química se formarán los gases de escape, los cuales están hechos por partículas sólidas, hidrocarburos, monóxidos y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno.



**Figura 16: Secuencia normal de la combustión de la mezcla.**

Fuente: (Melchor, 2012)

## 2.8. Banco dinamométrico de rodillos

(Crouse, 1990) menciona: “Un banco dinamométrico se puede comprobar la potencia desarrollada por un motor bajo diferentes condiciones de funcionamiento”.

(Crouse, 1990) manifiesta: “El banco dinamométrico permite simular cualquier clase de prueba en ruta bajo cualquier carga o velocidad deseada por el operador”.



**Figura 17: Dinamómetro de rodillos Motorroll.**

### 2.8.1. Características del dinamómetro de rodillos

Este tipo de dinamómetros es conocido como dinamómetros de chasis ya que sus rodillos se encuentran ubicados en una estructura metálica, en donde también se encuentran el freno hidráulico, bomba de agua, sensores de presión y velocidad con los cuales se determinarán los parámetros característicos de los motores de combustión interna.

Los rodillos ejercen una fuerza de resistencia contra las ruedas del vehículo para computar la potencia y su par motor, la relación que ofrecen los rodillos es similar a la tracción del vehículo cuando acelera sobre una superficie plana.

## 2.8.2. Software del banco dinamométrico de rodillos.

Para observar de manera gráfica las curvas de potencia y par motor al momento de desarrollar las pruebas en el dinamómetro de rodillos se utiliza el software BLAHA desarrollado por el fabricante MOTORROLL.

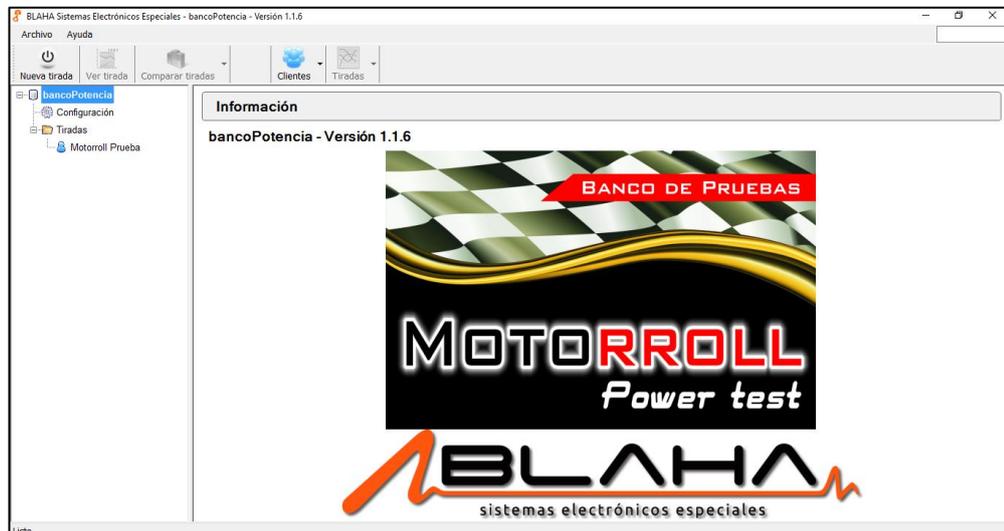


Figura 18: Software BLAHA para ensayos dinamométricos.

## 2.9. Análisis de gases de escape

Cuando se termina el proceso de combustión en el interior del motor se producen diversos gases los cuales son:

- CO (Monóxido de carbono)
- CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono)
- O<sub>2</sub> (Oxígeno)
- HC (Hidrocarburos)
- N (Nitrógeno)
- H<sub>2</sub>O (Agua)
- NO<sub>x</sub> (Óxidos de nitrógeno)

Cuando se realiza un análisis correcto de los gases de combustión se puede interpretar un diagnóstico muy importante del funcionamiento del motor de combustión interna.

### 2.9.1. Analizador de gases

El analizador de gases es un instrumento o equipo que se utiliza para la medición de los gases de escape expulsados por el motor de combustión interna y que son producidos por la combustión de la mezcla aire – combustible.



**Figura 19: Analizador de gases capelec.**

## CAPITULO III

### 3. PRUEBAS EN EL BANCO DINAMOMÉTRICO Y ANALIZADOR DE GASES

#### 3.1. Equipos y software para el desarrollo de las pruebas.

En los laboratorios de Motores y Autotrónica de la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga se desarrolló las pruebas dinamométricas, oscilogramas del sistema de encendido y análisis de gases de escape del Vehículo Volkswagen GOL con motor CFZ.

Los parámetros característicos primordiales de la investigación que se obtuvieron en las pruebas dinamométricas son los siguientes:

- Potencia
- Par motor
- Consumo específico de combustible

Con el osciloscopio automotriz se evaluó los oscilogramas del sistema de encendido:

- Oscilograma secundario
- Tiempo de quemado

En el analizador de gases se efectuó la medición de gases de escape que son producidos por la combustión de la mezcla aire combustible.

#### 3.1.1. Banco dinamométrico de rodillos MOTORROLL

El banco dinamométrico de rodillos es uno de los equipos primordiales para efectuar las pruebas o ensayos de potencia y par motor.

En la tabla 6 se observa las características principales que posee el dinamómetro de rodillos Motorroll el cual sirve para para vehículos de tracción delantera y tracción posterior.

**Tabla 6.**  
**Características del dinamómetro de rodillos**

<b>CARACTERISTICAS DINAMÓMETRO MOTORROLL</b>	
TIPO DE DINAMÓMETRO	Rodillos
TIPO DE FRENO	Hidráulico
DIAMETRO DE RODILLOS	165 mm
BRAZO DE PALANCA	256 mm
ELECTRÓNICA UTILIZADA	Interfaz Motorroll con conexión a pc.
SENSOR DE VELOCIDAD	Óptico
ALCANCE DE POTENCIA	200 HP – 150 KW
ALCANCE DE REVOLUCIONES	20000 RPM

**Fuente:** (Motorroll, 2016)

### **3.1.2. Procedimiento de ensayo en el banco dinamométrico.**

Cuando se hace girar los rodillos del banco hay que prestar atención de como se mantiene el volante del automóvil y hacerlo de manera correcta. Se mantiene presente que el movimiento que se ejerce sobre los rodillos es similar cuando el automóvil produce su tracción sobre las autopistas por los cual también existirán movimientos laterales que se derivan con eminente fuerza.

Lo más probable que al principio exista dificultades para mantener la tracción del automóvil ubicado en el centro del tren de rodillos, pero con la práctica de varios ensayos se tendrá un manejo óptimo del dinamómetro con el respectivo software, para empezar con los ensayos siempre cumplir con lo establecido en la tabla 7 y tabla 8.

**Tabla 7.**  
**Procedimiento para el ensayo dinamométrico.**

**ENSAYOS DINAMOMÉTRICOS**

Procedimiento	Imagen
<p>Engrasar los rodillos y revisar que no exista alguna anomalía con los mismos.</p>	
<p>Centrar el vehículo en los rodillos del dinamómetro para que no existan movimientos laterales al momento de realizar los ensayos.</p>	
<p>Accionar el freno de mano antes de realizar cualquier ensayo con el dinamómetro.</p>	
<p>Colocar la interfaz en la mesa de trabajo donde se pueda realizar convenientemente las conexiones de los cables de corriente, sensores y la conexión a la laptop.</p>	

Continua 

Conectar la interfaz a su fuente de alimentación además a los sensores de carga y velocidad del dinamómetro.



Realizar la conexión de la bomba de agua y esperar 5 minutos a que recircule el agua y alcance una temperatura de funcionamiento óptimo de 19°C.



Aplicar el freno hidráulico girándolo en sentido horario a 360 (ajustar si fuese necesario).



Colocar de forma frontal el ventilador al automóvil y ajustarlo a una distancia de 30 a 40 cm.



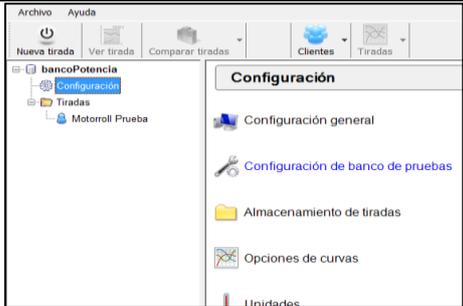
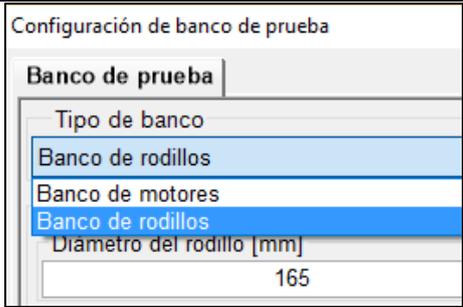
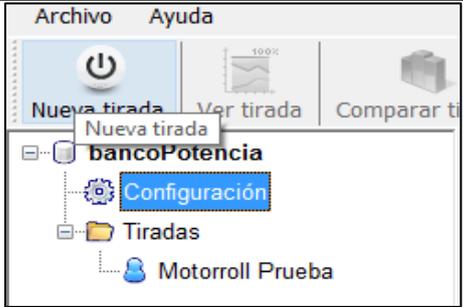
Verificar que el sensor de revoluciones esté funcionando correctamente girando manualmente los rodillos (luz indicadora).



### 3.1.3. Configuración del Banco de Rodillos.

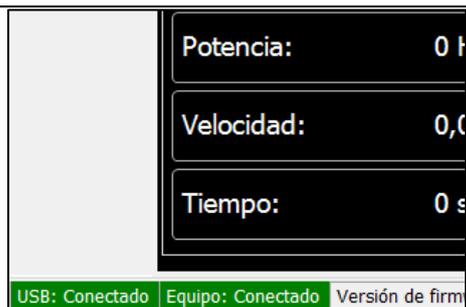
Para la configuración del banco de rodillos Motorroll se lo debe realizar a través del software BLAHA una vez que se haya instalado en un computador portátil o de escritorio.

**Tabla 8.**  
**Configuración del dinamómetro de rodillos.**

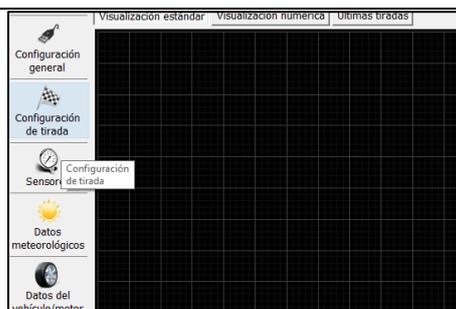
Procedimiento	Imagen
<p>Iniciar el programa previamente instalado en el computador.</p>	
<p>Ir a "Configuración" y después a "Configuración de banco de pruebas".</p>	
<p>Seleccionar "Banco de rodillos" y colocar el diámetro de los rodillos y dar aceptar.</p>	
<p>Seleccionar "Nueva Tirada"</p>	

Continua 

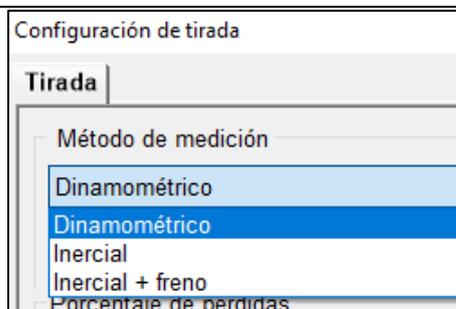
Observar en la parte inferior izquierda que el equipo y USB estén conectados.



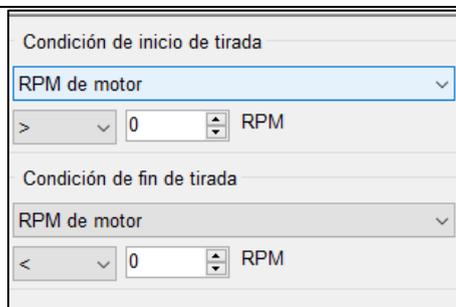
Ir a la opción “Configuración de tirada”



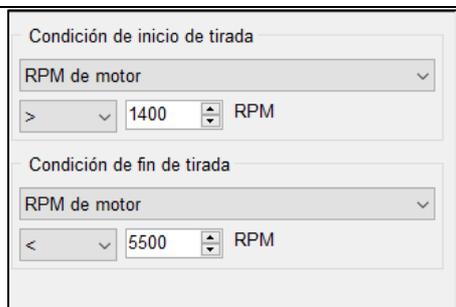
En “Método de medición” seleccionar “Dinamométrico”



Para las condiciones de “Inicio y fin de tirada” seleccionar las RPM del Motor



Asignar desde que rango de revoluciones el programa tome los datos de potencia y par motor. Asignar desde 1400 rpm hasta 5500 rpm.

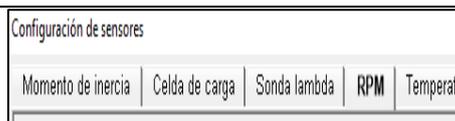


Continua 

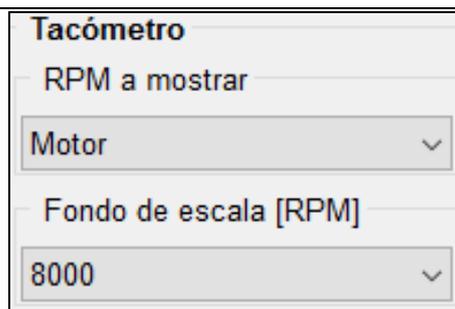
Ir a la opción "Sensores".



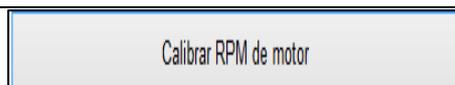
Dar click en la opción "RPM".



Seleccionar en la sección "Tacómetro" una escala de revoluciones de acuerdo al tacómetro que posee el automóvil.



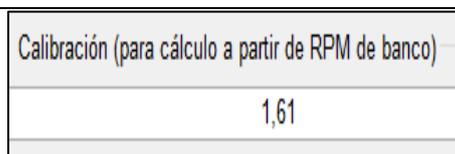
Seleccionar "Calibrar RPM de motor"



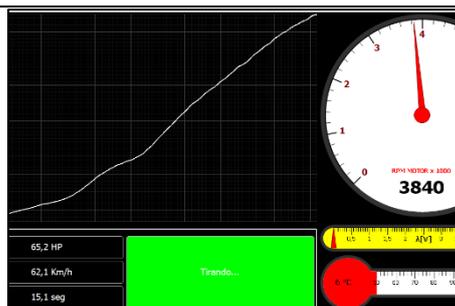
Traccionar el automóvil hasta 3000 rpm, mantenerla estable hasta dar click en aceptar.



Ejecutar las pruebas de potencia y par motor del automóvil con relación de calibración entre 1,5 hasta 1,7.

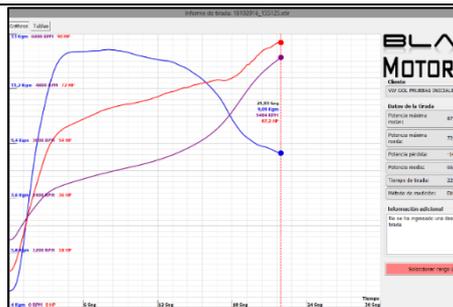


Observar como en el software se van formando las curvas de potencia y torque.



Continua

Observar los resultados del ensayo dinamométrico con la curva de potencia y par motor en el inicio del software.



Para que un ensayo dinamométrico sea preciso o más cerca a la realidad de los parámetros característicos de los automóviles el tiempo de ejecución del ensayo debe durar de 20 a 23 segundos.

Potencia máxima motor:	87,4 HP (5502 RPM)
Potencia máxima rueda:	72,8 HP (5502 RPM)
Potencia pérdida:	-14,6 HP
Potencia media:	66,9 HP
Tiempo de tirada:	22,06 seg
Método de medición:	Dinamométrico

### 3.1.4. Software MOTORROL BLAHA

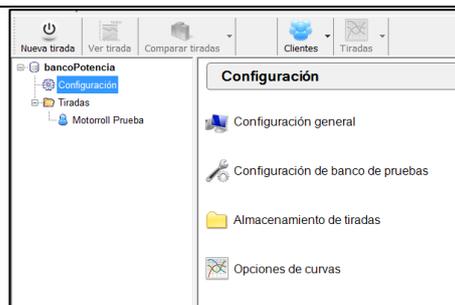
Programa desarrollado por Sistemas Electrónicos Especiales BLAHA los cuales de se encargan del diseño de equipos electrónicos para empresas los cuales funcionan a través de un computador, así como el Software BLAHA en el cual se puede visualizar de manera gráfica y numéricamente los resultados de los ensayos dinamométricos.

En la tabla 9 se observa varias funciones que proporciona el software cuando se hayan realizado las respectivas pruebas o ensayos dinamométricos.

**Tabla 9. Funciones del Software BLAHA.**

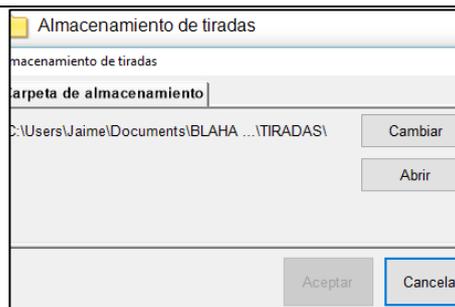
**FUNCIONES DEL SOFTWARE BLAHA**

En “Configuración” existen algunas funciones. Las dos primeras ya se las realizó para el funcionamiento del dinamómetro con el automóvil en marcha.



Continúa

En “Almacenamiento de datos” elegir el lugar donde se guardarán los futuros ensayos dinamométricos.

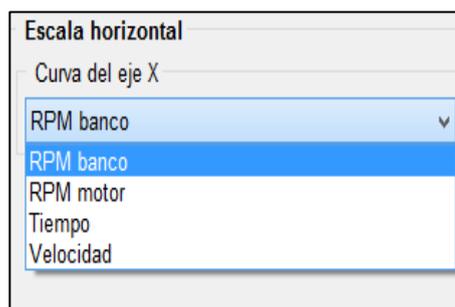


En “Opciones de curva” seleccionar el color de las curvas a nuestro placer, así como también marcar y desmarcar cuales son las curvas más óptimas para poder analizarlas.

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

En la opción “Escala de gráficos” cambiar la función del eje horizontal “Eje X”. La potencia y torque del motor se puede seleccionar en función de:

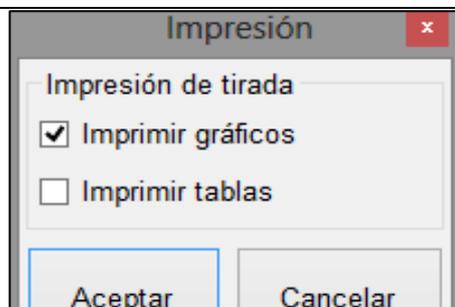
- RPM motor
- RPM banco
- Tiempo
- Velocidad



Adaptar los datos meteorológicos acorde a la ciudad de Latacunga.

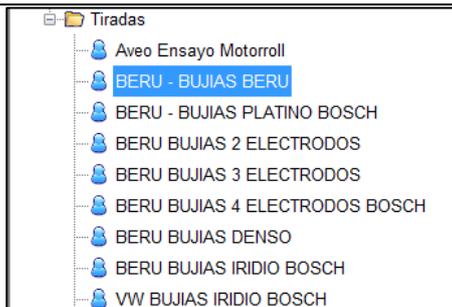
Datos	
Temperatura [°C]	21,6
Presión atmosférica [hPa]	982,0
Humedad [%]	45
Factor de corrección calculado	1,054325

Se puede obtener de forma físico los datos del ensayo dinamométrico en la opción “Imprimir” tanto las curvas como las tablas que entrega el programa.



Continua

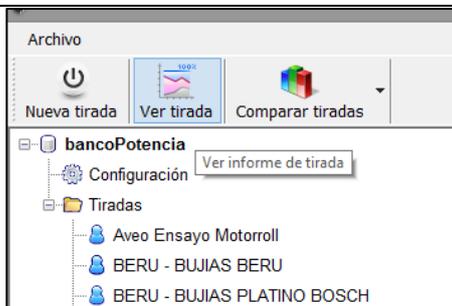
Regresar al inicio del programa y observar en la opción “Tiradas” todos los clientes de los cuales se han realizado los ensayos.



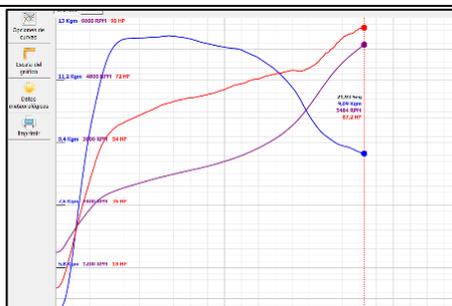
Seleccionar cualquier cliente y se van a desplegar los ensayos realizados.

Fecha	Nombre de la tirada	Ciiente
2016/10/21, 10:31hs	21102016_103104.xtir	BERU - BUJIAS BERU
2016/10/21, 10:30hs	21102016_103016.xtir	BERU - BUJIAS BERU
2016/10/21, 10:29hs	21102016_102931.xtir	BERU - BUJIAS BERU
2016/10/21, 10:28hs	21102016_102849.xtir	BERU - BUJIAS BERU
2016/10/21, 10:26hs	21102016_102653.xtir	BERU - BUJIAS BERU

Seleccionar cualquier ensayo e ir a la opción “Ver tirada”.



Ver las curvas de potencia y torque entregado por el vehículo.



Observar las tablas donde se aprecian los valores de revoluciones, potencia máxima y torque máximo en los cuadros de color verde.

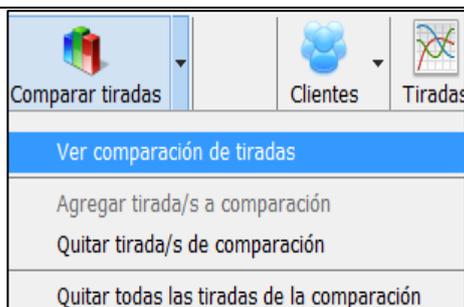
Tiempo	Torque	RPM motor	Potencia motor
0.00 Seg	4.56 kgm	1404 RPM	11.0 HP
2.23 Seg	9.23 kgm	2241 RPM	40.1 HP
4.41 Seg	12.29 kgm	2880 RPM	58.9 HP
6.62 Seg	12.43 kgm	2869 RPM	63.1 HP
8.85 Seg	12.48 kgm	2871 RPM	65.4 HP
10.82 Seg	12.45 kgm	3021 RPM	66.3 HP
11.83 Seg	12.24 kgm	3160 RPM	68.1 HP
13.24 Seg	12.07 kgm	3352 RPM	71.8 HP
15.44 Seg	11.57 kgm	3645 RPM	73.7 HP
17.65 Seg	10.46 kgm	4166 RPM	74.8 HP
19.85 Seg	9.41 kgm	4574 RPM	81.8 HP
22.06 Seg	8.36 kgm	5282 RPM	87.4 HP

Continua

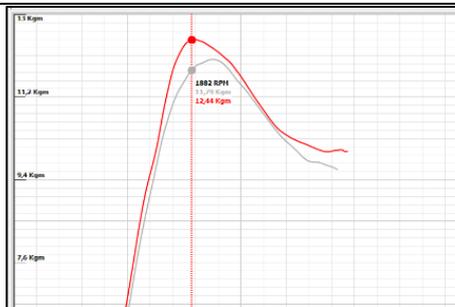
En la opción “Comparación de tiradas”, seleccionar “Agregar tirada/s a comparación” aquí se podrá elegir dos o más ensayos para comparar.



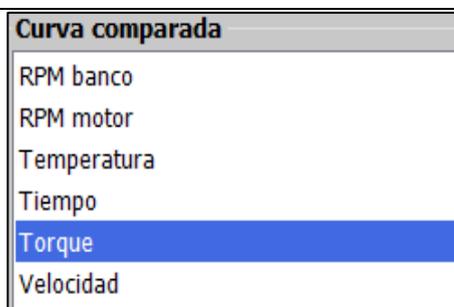
Una vez agregados los ensayos que se desea comparar, ir a “Ver comparación de tiradas”.



Observar en la pantalla la comparación de los ensayos.



Obtener una comparación de curvas entre torque, potencia, velocidad, tiempo, temperatura, etc.



### 3.1.5. Interfaz OBDWIZ OBD II

OBDWIZ es una interfaz con conexión a PC que permite el diagnóstico automotriz como una especie de escáner a través de un software, es una herramienta muy útil que es muy fácil de instalar, fácil de usar y está repleto de varias características.

Con el uso de OBDWIZ permite al usuario detectar códigos de fallas OBD II o DTCS, además de eso se pueden leer PIDS con los valores que se

necesitan al momento de detectar una posible falla cuando se encienda la luz indicadora “CHECK ENGINE”.

Una de las funciones primordiales que sirve en la investigación es detectar uno de los parámetros característicos del motor el cual será “Consumo específico de combustible” que dará en *lt/horas* o *gal/horas*.

### Características principales

- Compatibles con la mayoría de computadoras portátiles.
- Soporta todos los vehículos compatibles con OBD-II, incluidos los vehículos EOBD y JOBS.
- Tableros de control
- Calcula el consumo de combustible en *lt/horas* o *gal/horas*.
- Representación en tiempo real de todos los valores PID.
- Lectura y borrado de códigos de problemas de diagnóstico.
- Unidades métricas e inglesas.
- Más de 90 PIDs soportados



Figura 20: Interfaz OBDWIZ.

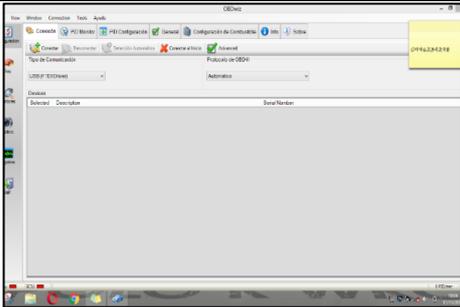
PID	Descripción	Valor	Unidades	Min	Media	Max
SAE 0x0D	Vehicle speed	0	MPH	0	0	0
SAE 0x04	Calculated load value	7.06	%	6.67	7.2	7.84
SAE 0x05	Engine coolant temperature	150.8	F	150.8	150.8	150.8
SAE 0x06	Short term fuel % trim - Bank 1	2.34	%	0	0.7	5.47
SAE 0x07	Long term fuel % trim - Bank 1	0	%	0	0	0
SAE 0x0B	Intake manifold absolute pressure	4.06	PSI	4.06	4.15	4.21
SAE 0x0C	Engine RPM	832.5	RPM	821.5	830.18	846
SAE 0x0E	Ignition timing advance for #1 cylinder	3		2	3.92	6
SAE 0x0F	Intake air temperature	102.2	F	102.2	102.2	102.2
SAE 0x11	Absolute throttle position	3.92	%	3.92	4.14	4.31
SAE 0x14	O2 voltage (Bank 1, Sensor 1)	0.24	V	0.24	0.41	0.52
SAE 0x14	Short term fuel trim (Bank 1, Sensor 1)	4.69	%	0	0.78	5.47
SAE 0x15	O2 voltage (Bank 1, Sensor 2)	0	V	0	0	0
SAE 0x15	Short term fuel trim (Bank 1, Sensor 2)	99.22	%	99.22	99.22	99.22
SAE 0x21	Distance traveled while MIL is activated	0	millas	0	0	0

Tabla 10: Lectura de PIDs a través de la interfaz OBDWIZ.

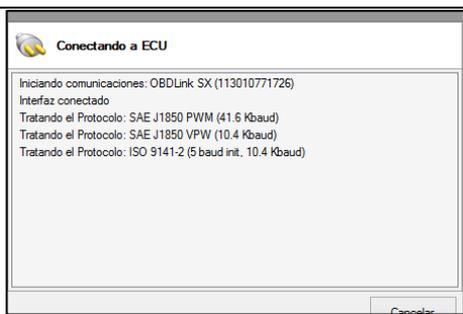
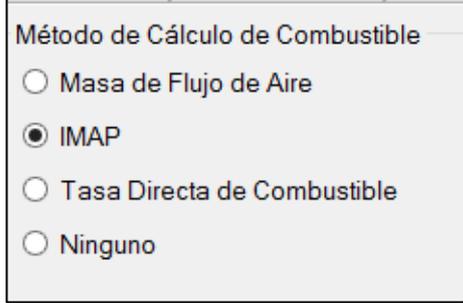
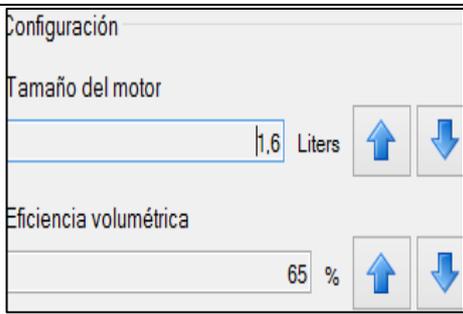
### 3.1.6. Configuración y uso de la Interfaz OBDWIZ OBD II

Para el uso de la Interfaz OBDWIZ se requieren algunas configuraciones con la conexión al puerto OBD II del vehículo y de igual forma a la PC.

**Tabla 11.**  
**Configuración de la Interfaz OBDWIZ ODBII.**

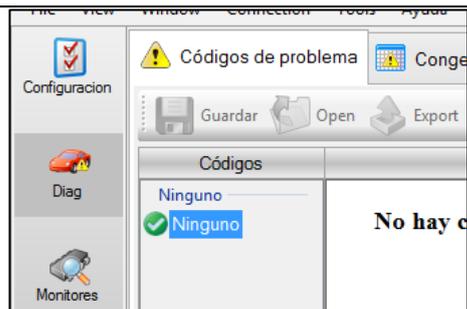
CONFIGURACION INTERFAZ OBDWIZ									
Procedimiento	Imagen								
Ejecutar el programa previamente instalado en la PC portátil.									
Realizar la conexión de la interfaz al puerto OBD II del automóvil.									
Conectar la interfaz al puerto USB de la PC portátil.									
Esperar que la interfaz sea reconocida por la PC.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Selected</th> <th>Description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>OBDLink SX</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Serial Number</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">113010771726</td> </tr> </tbody> </table>	Selected	Description	<input checked="" type="checkbox"/>	OBDLink SX	<b>Serial Number</b>		113010771726	
Selected	Description								
<input checked="" type="checkbox"/>	OBDLink SX								
<b>Serial Number</b>									
113010771726									

Continua 

<p>Dar click en “Conectar”.</p>	
<p>Observar el reconocimiento de protocolos de diagnóstico OBD II.</p>	
<p>Chequear que el cuadro de “Interfaz” y “ECU” estén de color verde.</p>	
<p>Ir a la opción “Configuración de combustible” en el cual permite colocar el cilindraje del automóvil.</p>	
<p>En “Fuel Type” seleccionar el tipo de combustible utilizado por el automóvil.</p>	
<p>Calibrar el cilindraje en la opción “IMAP”.</p>	
<p>Ajustar al cilindraje del automóvil con las flechas azules.</p>	

Continúa 

Leer los códigos de fallas del automóvil en la opción "Diag".



Seleccionar la opción "Tablero" donde se podrá apreciar ciertos valores en tiempo real que produce el automóvil.



Cuando se realiza la prueba dinamoétrica se puede observar como va cambiando el consumo de combustible en relación al régimen de giro.



Comparar las revoluciones del OBDWIZ con las revoluciones del Software BLAHA para seguridad de una ensayo dinamómetro correcto.



Potencia máxima motor: 87,4 HP (5502 RPM)

### 3.1.7. Osciloscopio Automotriz HANTEK 1008c

Básicamente es un equipo electrónico que posee funciones de osciloscopio automotriz virtual el cual convierte cualquier computador o laptop en un osciloscopio de ocho canales.

Con Hantek 1008c se pueden realizar diagnóstico del sistema de encendido, sensores del motor (CKP, CMP, IAT, MAF, MAP, TPS etc.), y presentan las siguientes características:

- Osciloscopio con frecuencia de 2,4 MS/s
- 4 ks de profundidad de muestreo.
- Interfaz de un osciloscopio de banco.
- Alimentación por puerto usb.
- Compatible con Windows XP, 2000, Vista, 7, 8 y W10.
- 8 canales de medición
- Pinza amperimetrica



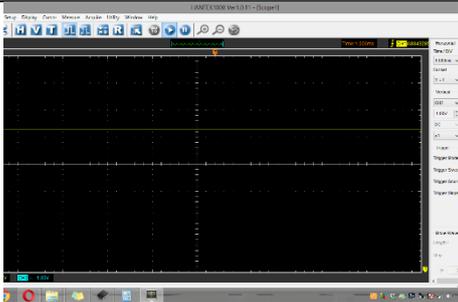
**Figura 21: Osciloscopio Automotriz Hantek 1008c.**  
Fuente: (Hantek)

El software posee imágenes de las señales características de varios sensores del motor, actuadores y además de la comunicación de redes entre módulos, algunos de los sensores y actuadores de los cuales se observará su señal característica son:

- Válvula EGR.
- Inyectores

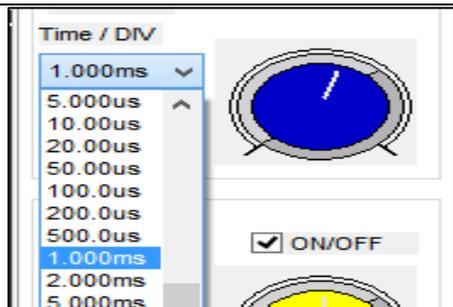
- Válvula IAC
- Bobina de encendido
- Sensor TPS
- Sensor CKP
- Sensor CMP
- Sensor MAP
- Sensor MAF
- Sensor IAT
- Sensor OXIGENO
- Señal Bus CAN

**Tabla 12.**  
**Uso del Osciloscopio Hantek 1008c.**

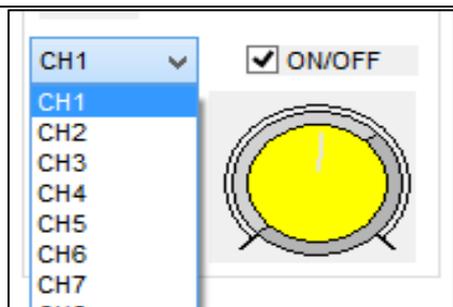
PROCEDIMIENTO DE USO DEL HANTEK 1008C	
Procedimiento	Imagen
<p>Instalar el software que viene incluido con el Hantek 1008c lo cual será muy fácil su instalación y se ejecutara de inmediato el programa.</p>	
<p>Ubicar la interfaz en un lugar donde no intervenga a la comodidad para realizar el diagnóstico automotriz.</p>	
<p>Realizar la conexión de alimentación de la interfaz mediante el puerto USB del computador personal.</p>	

Continua 

Configurar el voltaje por división y el tiempo con el cual se observa la señal característica.



Elegir el canal del osciloscopio.



Ubicar los sensores o actuadores el cual se medirá la señal característica.



Conectar la pinza de voltaje al cable de bujías del primer cilindro, para obtener el oscilograma secundario.

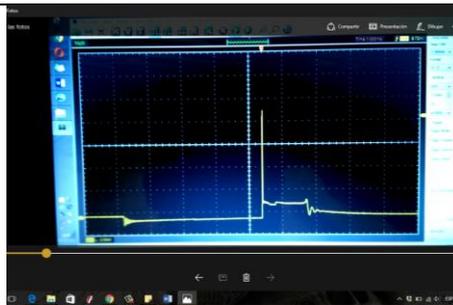


Realizar la conexión de masa al negativo de la batería para evitar posibles fallos o cortocircuitos de los cables.

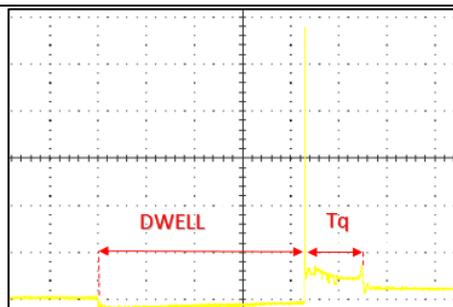


Continúa 

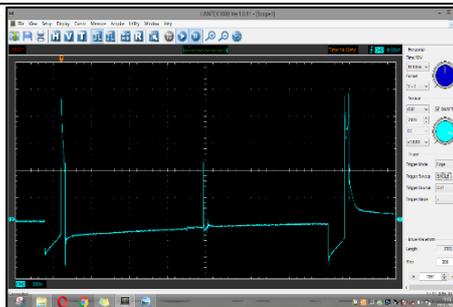
Con el vehículo en funcionamiento, observar en la pantalla como se forma el oscilograma secundario y posteriormente para su respectivo análisis.



Determinar en el circuito secundario el “Tiempo de quemado” o “Duración de la chispa” el cual influye en el rendimiento del vehículo.



Cambiar los valores de voltaje y tiempo en los diferentes ejes para tener una señal más pequeña o más grande eso dependerá de la imagen que se necesite para su respectivo análisis.



### 3.1.8. Analizador de gases CAPELEC

El analizador de gases CAPELEC respeta íntegramente los niveles de emisión de gases contaminantes del automóvil, así como los hidrocarburos no combustionados, además cuenta con las siguientes funciones:

- Método de análisis multigas  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $O_2$  y  $HC$ .
- Modo inspección técnica de vehículos.
- Tiempo de precalentamiento <5 min a 20°C.
- Extracción automática de condensación.
- Auto cero automáticamente.
- Salida para revoluciones del automóvil.



Figura 22: Analizador de gases automotrices capelec.



Figura 23: Analizador de gases Capelec en funcionamiento.

- **Procedimiento de uso del analizador de gases Capelec.**

En esta clase de analizador de gases de marca Capelec se puede determinar cuáles son los porcentajes y ppm de los gases nocivos e hidrocarburos no combustionados que produce el automóvil, así como el valor lambda que permite saber si la mezcla es rica o pobre.

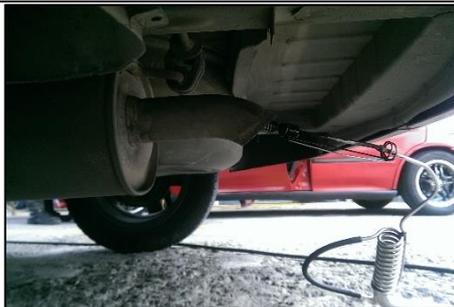
**Tabla 13.**  
**Uso del analizador de gases CAPELEC.**

**USO DEL ANALIZADOR DE GASES**

Procedimiento	Imagen
Encender el analizador, dejar que se precaliente y estabilice por cinco minutos.	

Continua 

Conectar con precaución la sonda en el tubo de escape del automóvil.



Conectar el captador de revoluciones al cable de bujía del primer cilindro.



Encender el vehículo y conectar el filtro del analizador de gases.



Esperar 10 segundos a que se estabilice las revoluciones del analizador.



Observar en la pantalla del analizador los valores de los gases nocivos e hidrocarburos en ralentí.



Continúa 

Acelerar el vehículo hasta 2500 rpm y mantenerlo estable durante 15 segundos, observar como cambian los valores de gases.



Por ultimo esperar a que el analizador se estabilice por 2 minutos para realizar otras pruebas.



### 3.2. Prueba inicial con los componentes originales.

Se desarrollaron las pruebas dinamométricas del vehículo Volkswagen GOL con motor CFZ, la primera prueba o primer ensayo dinamométrico se realizó con los parámetros originales que posee el vehículo los cuales se observan en la tabla 14.

#### 3.2.1. Características de fábrica del vehículo Volkswagen Gol.

**Tabla 14.**  
**Características originales del vehículo Volkswagen gol.**

VOLKSWAGEN GOL	
TIPO DE MOTOR	CFZ
POSICIÓN DEL MOTOR	Transversal
NÚMERO DE CILINDROS	4
CILINDRADA TOTAL	1598 cm <sup>3</sup>
DIÁMETRO	81 mm
CARRERA	71,4 mm
RELACIÓN DE COMPRESIÓN	10.8:1
POTENCIA DE FÁBRICA @ RPM	101 HP @ 5750 rpm
TORQUE DE FÁBRICA @ RPM	140 Nm @ 3250 rpm

Fuente: (Volkswagen, 2010)

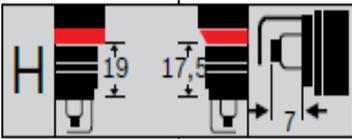
### 3.2.2. Obtención de señales con el osciloscopio de los componentes originales.

Con el osciloscopio automotriz se obtienen los oscilogramas del circuito secundario y posteriormente en los mismos oscilogramas el tiempo de quemado que son producidos por la bobina Bosch y la Bujía FLR7HTCO.

### 3.3. Pruebas de potencia, torque y consumo de combustible con los componentes originales del vehículo.

El vehículo Volkswagen gol posee instalado de fábrica una bujía de tres electrodos con el código FLR7HTCO además de una bobina Bosch.

**Tabla 15.**  
**Características de la bujía FLR7HTCO**

	Forma de asiento y rosca
F	
L	Bujía de chispa deslizante al aire
R	Resistencia antiparasitaria
7	Grado térmico
H	
	Numero de electrodos
T	
C	Material de los electrodos: Cobre
0	Configuración para Volkswagen - Audi

Fuente: (BOSCH, 2015)



**Figura 24: Juego de bujías Bosch 3 electrodos.**

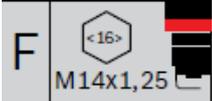
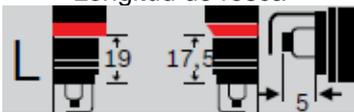
### 3.4. Pruebas de potencia, torque y consumo de combustible con diferentes de bujías y bobinas de encendido.

Después del primer ensayo realizado con los parámetros originales del vehículo, se efectuó las diferentes pruebas dinamométricas con las combinaciones de bujías y bobinas de encendido.

### 3.5. Información de las bujías de encendido.

#### 3.5.1. Bosch FR7LDC

**Tabla 16.**  
**Descripción Bosch FR7LDC.**

	Forma de asiento y rosca
F	
R	Resistencia antiparasitaria
7	Grado térmico
	Longitud de rosca
L	
	Numero de electrodos
D	
C	Material de los electrodos: Cobre

Fuente: (BOSCH, 2015)

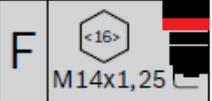


**Figura 25: Juego de bujías 2 electrodos.**

En la figura 27 se observan el juego de bujías de 2 electrodos con la numeración FR7LDC de marca Bosch sin embargo en la tabla 16 se observan las características que poseen las mismas.

### 3.5.2. Bosch FR78X SUPER 4

**Tabla 17.**  
**Descripción Bosch FR78LX4**

	Forma de asiento y rosca
F	
R	Resistencia antiparasitaria
7	(Denso, 2013) Grado térmico
X	Distancia entre electrodos: 1,1 mm

**Fuente:** (BOSCH, 2015)



**Figura 26: Juego de bujías Bosch 4 electrodos**

En la figura 27 se observan el juego de bujías de 4 electrodos con la numeración FR78X de marca Bosch con una fabricación del electrodo central de yttrium (aleación de cobre, níquel e itrio), además en la tabla 17 se observan las características que poseen las mismas.

### 3.5.3. Denso K16PR-U

**Tabla 18.**  
**Descripción Denso K16PR-U.**

	Diámetro de la rosca	Tamaño del hexágono
K	14 mm	16 mm
16	Grado térmico	
P	Cuerpo proyectado de 1.5 mm	
R	Resistivo	
U	Electrodo con conexión a tierra con ranura en U	

**Fuente:** (Denso, 2013)

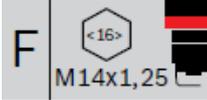
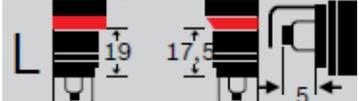


Figura 27: Juego de bujías Denso.

En la figura 28 se observan el juego de bujías de 1 electrodo de masa con la numeración K16PR-U de marca Denso con una fabricación del electrodo central de cobre, además en la tabla 18 se observan las características que poseen las mismas.

#### 3.5.4. Bosch FR6LII330X IRIDIO

Tabla 19.  
Descripción Bosch FR6LII330X

	Forma de asiento y rosca
F	
R	Resistencia antiparasitaria
6	Grado térmico
	Longitud de rosca
L	
I	Electrodo central: Iridio
I	Electrodo de masa con punta pequeña de iridio
33	Longitud especial de rosca
0	Variación de la versión original
X	Distancia entre electrodos 1,1 mm

Fuente: (BOSCH, 2015)

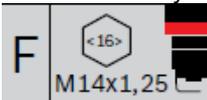
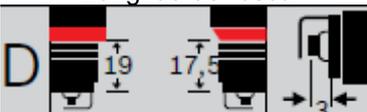


**Figura 28: Juego de bujías Bosch doble Iridio.**

En la figura 29 se observan el juego de bujías de 1 electrodo de masa con punta de iridio, con la numeración FR6LI1330X de marca Bosch con una fabricación del electrodo central de iridio, además en la tabla 19 se observan las características que poseen las mismas.

### 3.5.5. Bosch FR8DP

**Tabla 20.  
Descripción Bosch FR8DP.**

	Forma de asiento y rosca
F	
R	Resistencia antiparasitaria
8	Grado térmico
	Longitud de rosca
D	
P	Electrodo central PLATINO
	Distancia entre electrodos 0,8 mm

**Fuente:** (BOSCH, 2015)



**Figura 29: Juego de bujías Bosch Platino.**

En la figura 30 se observan el juego de bujías de 1 electrodo de masa con la numeración FR8DP de marca Bosch con una fabricación del electrodo central de platino, además en la tabla 20 se observan las características que poseen las mismas.

### 3.5.6. Beru 14FR7DPUX02

**Tabla 21.**  
**Descripción Beru 14FR7DPUX02.**

14	Diámetro de la rosca 14 mm
F	Tamaño del hexágono 16 mm
R	Resistencia antiparásita 5 k $\Omega$ / 10 k $\Omega$
7	Grado térmico
D	17,5 mm posición de chispa avanzada
P	Electrodo central Platino
UX	Pre calibración – Distancia entre electrodos 1 mm
02	Electrodo de masa bicomponente Platino - Cobre

**Fuente** (Federal Mogul BERU, 2013)



**Figura 30: Juego de bujías Beru Platino.**

En la figura 31 se observan el juego de bujías de 1 electrodo de masa con la numeración 14FR7DPUX02 de marca Beru con una fabricación del electrodo central de platino, además en la tabla 21 se observan las características que poseen las mismas.

### 3.5.7. NGK BKUR5ETC – 10

**Tabla 22.**  
**Descripción NGK BKUR5ETC – 10.**

BK	Diámetro de la rosca	Tamaño del hexágono
	14 mm	16 mm
U	Descarga superficial o <del>superficial</del>	

R	Tipo resistivo
5	Grado térmico
E	Longitud de la rosca 19 mm
T	3 electrodos de masa
C	Electrodos de masa oblicuos
10	Distancia entre electrodos 1 mm

Fuente: (NGK, 2013)



**Figura 31: Juego de Bujías NGK 3 electrodos.**

En la figura 32 se observan el juego de bujías de 3 electrodos de masa con la numeración BKUR5ETC – 10 de marca NGK con una fabricación del electrodo central de cobre, además en la tabla 22 se observan las características que poseen las mismas.

### **3.6. Información de las bobinas de encendido.**

En la actualidad los motores de combustión interna realizan el encendido de la mezcla aire – combustible mediante sistemas de encendido electrónicos es decir que ya no utilizan el sistema de encendido convencional con el uso de bobinas asfálticas o de cartuchos y distribuidor. En lugar de utilizar el sistema convencional los nuevos motores utilizan bobinas de plásticos de diferentes geometrías, en general los nuevos sistemas de encendido son DIS y COP.

#### **3.6.1. Bobina Bosch**

Las bobinas Bosch son reconocidas en casi todo el parque automotor gracias a sus excelentes prestaciones las cuales cumplen con rigurosos estándares especificados por las fabricantes.

En los vehículos de inyección electrónica no se utiliza el encendido convencional con bobina asfáltica si no a su vez se utilizan bobinas plásticas las cuales son multichispas y son controladas por la PCM.

Una de las principales ventajas que poseen estos tipos de bobinas de encendido tienen internamente resina de una gran resistencia al cambio térmico de temperatura, esto va a garantizar un suministro de tensión ideal que exige el vehículo hacia las bobinas de encendido.

**Tabla 23.**  
**Característica Bobina Bosch.**

ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA BOBINA BOSCH	
TIPO	F000ZS0210
ALIMENTACIÓN	12 V
CARCASA	Plástica multichispa
TENSIÓN PRIMARIO	350 V
TENSIÓN SECUNDARIO	28 KV
RESISTENCIA PRIMARIO	0,46 ohms $\Omega$
RESISTENCIA SECUNDARIO	5,6 kohms $k\Omega$
APLICACIÓN	Motores de 4 cilindros – 4 tiempos Encendido DIS.

Fuente: (BOSCH, 2015)



**Figura 32: Bobina de encendido Bosch.**

### 3.6.2. Bobina Beru

Una marca de componentes electrónicos alemana que está dando mucho de qué hablar en campo automotriz, uno de ellos es la fabricación de

bobinas de encendido que posee buenas condiciones de funcionamiento, en la tabla 24 están algunas de sus características.

**Tabla 24.**  
**Característica Bobina Beru.**

ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LA BOBINA BOSCH	
TIPO	ZSE003
ALIMENTACIÓN	12 V
CARCASA	Plástica multichispa
TENSIÓN PRIMARIO	330 V
TENSIÓN SECUNDARIO	25 – 45 KV
RESISTENCIA PRIMARIO	0,3 – 0,6 ohms $\Omega$
RESISTENCIA SECUNDARIO	5 – 20 kohms $k\Omega$
APLICACIÓN	Motores de 4 cilindros – 4 tiempos Encendido DIS.

Fuente: (BERU, 2014)



**Figura 33: Bobina de encendido Beru.**

### 3.7. Combinaciones de bujías y bobinas de encendido.

Para la ejecución de los ensayos dinamométricos se realizó combinaciones entre bujías y bobinas de encendido, las cuales se encuentran en las tablas 25 hasta la tabla 38.

**Tabla 25.**  
**Combinación 1, Bosch FR7LDC – Bobina Bosch.**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR7LDC
<b>Número de electrodos de masa</b>	2
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,9 mm
<b>Grado térmico</b>	7
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 26.**  
**Combinación 2, NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina Bosch**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	NGK BKUR5ETC – 10
<b>Número de electrodos de masa</b>	3
<b>Distancia entre electrodos</b>	1,0 mm
<b>Grado térmico</b>	5
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 27.**  
**Combinación 3, Bosch FR78X4 - Bobina Bosch**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR78X4
<b>Número de electrodos de masa</b>	4
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,9 mm
<b>Grado térmico</b>	7
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 28.**  
**Combinación 4, Bosch FR6LII330X - Bobina Bosch**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR6LII330X
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	1,1 mm
<b>Grado térmico</b>	6
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 29.**  
**Combinación 5, Bosch FR8DP - Bobina Bosch**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR8DP
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,8 mm
<b>Grado térmico</b>	8
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 30.**  
**Combinación 6, Beru 14FR7DPUX02 - Bobina Bosch**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BERU 14FR7DPUX02
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	1 mm
<b>Grado térmico</b>	7
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 31.**  
**Combinación 7, Denso K16PR-U - Bobina Bosch**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	DENSO K16PR-U
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,8 mm
<b>Grado térmico</b>	16
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BOSCH

**Tabla 32.**  
**Combinación 8, Bosch FR7LDC - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR7LDC
<b>Número de electrodos de masa</b>	2
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,9 mm
<b>Grado térmico</b>	7
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

**Tabla 33.**  
**Combinación 9, NGK BKUR5ETC – 10 - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	NGK BKUR5ETC – 10
<b>Número de electrodos de masa</b>	3
<b>Distancia entre electrodos</b>	1,0 mm
<b>Grado térmico</b>	5
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

**Tabla 34.**  
**Combinación 10, Bosch FR78X4 - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR78X4
<b>Número de electrodos de masa</b>	4
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,9 mm
<b>Grado térmico</b>	7
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

**Tabla 35.**  
**Combinación 11, Boch FR6LII330X - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR6LII330X
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	1,1 mm
<b>Grado térmico</b>	6
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

**Tabla 36.**  
**Combinación 12, Bosch FR8DP - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BOSCH FR8DP
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,8 mm
<b>Grado térmico</b>	8
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

**Tabla 37.**  
**Combinación 13, Beru 14FR7DPUX02 - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	BERU 14FR7DPUX02
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	1 mm
<b>Grado térmico</b>	7
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

**Tabla 38.**  
**Combinación 14, Denso K16PR-U - Bobina Beru**

<b>Bujía de encendido</b>	
<b>Tipo de bujía</b>	DENSO K16PR-U
<b>Número de electrodos de masa</b>	1
<b>Distancia entre electrodos</b>	0,8 mm
<b>Grado térmico</b>	16
<b>Bobina de encendido</b>	
<b>Tipo de bobina</b>	Bobina BERU

### **3.8. Pruebas de emisiones de gases (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC) con los componentes originales del vehículo.**

Con el analizador de gases Capelec se logra observar la concentración de gases que son expulsados por el vehículo cuando está en funcionamiento con la bujía FLR7HTCO BOSCH de tres electrodos en conjunto con la bobina BOSCH.

#### **3.8.1. Prueba a marcha mínima o ralenti.**

Con el procedimiento de uso del analizador de gases en la tabla x se podrá en marcha el análisis de gases en ralenti o a revoluciones bajas que serán entre 700 a 800 rpm.

#### **3.8.2. Prueba a aceleración libre.**

Una vez realizada la prueba en marcha mínima inmediatamente se pondrá en ejecución la prueba a aceleración libre, para realizar esta prueba se debe seguir los pasos mencionados en la tabla 15.

### **3.9. Pruebas de emisiones de gases (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC) con las combinaciones de bujías y bobinas de encendido.**

Una realizadas todas las combinaciones de bujías y bobinas de encendido se realizan con cada una de ellas el análisis de gases de escape de la misma forma que se hizo con los componentes originales del vehículo siguiendo el procedimiento de la tabla 15 tanto para pruebas en marcha mínima y para aceleración libre.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DINAMOMETRICOS, OSCIOGRAMAS Y GASES NOCIVOS.

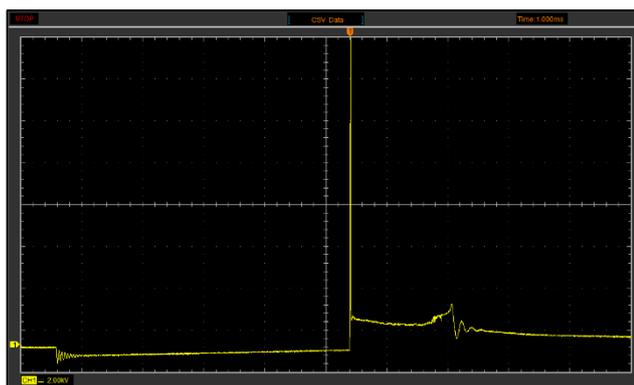
Al finalizar con las pruebas planteadas en el capítulo 3 se alcanzaron los resultados que se observan a continuación, el análisis se encuentra en el orden de combinaciones especificados en el anterior capítulo y comparadas por porcentajes de variación con respecto a los datos obtenidos inicialmente.

#### 4.1. Análisis del tiempo de quemado con los parámetros originales.

En la tabla 38 se muestra el tiempo de quemados con los componentes originales del vehículo, estos valores son la base para la comparación con las siguientes combinaciones; en la figura 35 se muestra el oscilograma del circuito secundario

**Tabla 39.**  
**Tiempo de quemado con los parámetros originales.**

DWELL	4,5171 ms
Tiempo de quemado	1,6825 ms
Voltaje máximo	17289,83 V



**Figura 34: Oscilograma del circuito secundario con los parámetros iniciales.**

## 4.2. Análisis individual del tiempo de quemado con las diferentes combinaciones.

El análisis individual del tiempo de quemado utiliza las combinaciones mencionadas en el capítulo 3, se realiza la comparación del tiempo de quemado que genera cada combinación

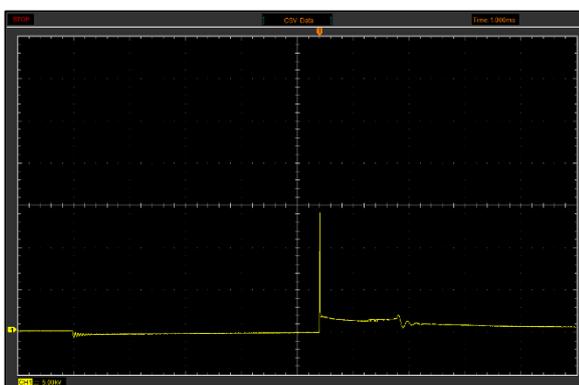
### 4.2.1. Tiempo de quemado BOSCH FR7LDC con la bobina BOSCH.

En la tabla 40 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch FR7LDC con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 36 se muestra el oscilograma secundario generado.

**Tabla 40.**

#### **Tiempo de quemado con la combinación 1.**

DWELL	4,42 ms
Tiempo de quemado	1,4125 ms
Voltaje máximo	13828,36 V



**Figura 35: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 1**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 2,15%, disminuye el tiempo de quemado un 16,04%.

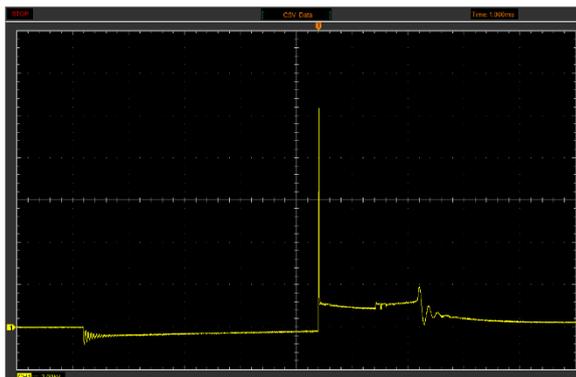
#### 4.2.2. Tiempo de quemado de la NGK BKUR5ETC – 10 con la bobina BOSCH.

En la tabla 41 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías NGK BKUR5ETC-10 con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 37 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 2.

**Tabla 41.**

##### **Tiempo de quemado con la combinación 2.**

DWELL	4,5175 ms
Tiempo de quemado	1,59 ms
Voltaje máximo	11903,17 V



**Figura 36: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 2.**

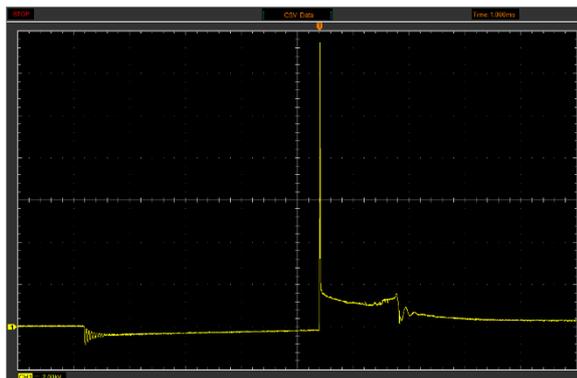
Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 2,43%, disminuye el tiempo de quemado un 5,49%.

#### 4.2.3. Tiempo de quemado de la BOSCH FR78X4 con la bobina BOSCH.

En la tabla 42 se muestra el tiempo de quemado que genera la combinación de las bujías Bosch FR78X4 con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 38 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 3.

**Tabla 42.****Tiempo de quemado con la combinación 3.**

DWELL	4,095 ms
Tiempo de quemado	1,3775 ms
Voltaje máximo	13388,87 V

**Figura 37: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 3.**

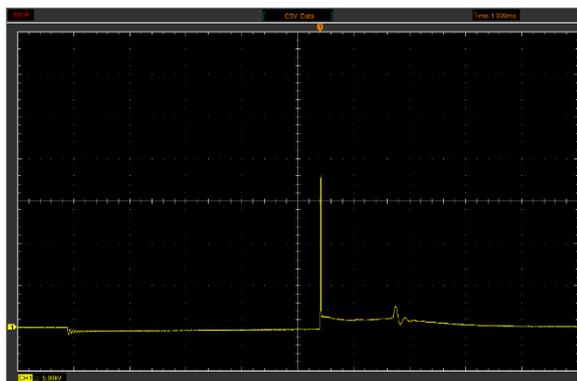
Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 9,35%, disminuye el tiempo de quemado un 18,12%.

#### 4.2.4. Tiempos de quemado de la BOSCH FR6LII330X con la bobina BOSCH.

En la tabla 43 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch FR6LII330X con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 39 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 4.

**Tabla 43.****Tiempos de quemado con la combinación 4.**

DWELL	4,5125 ms
Tiempo de quemado	1,345 ms
Voltaje máximo	17892,67 V



**Figura 38: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 4.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 0,11%, disminuye el tiempo de quemado un 20,06%.

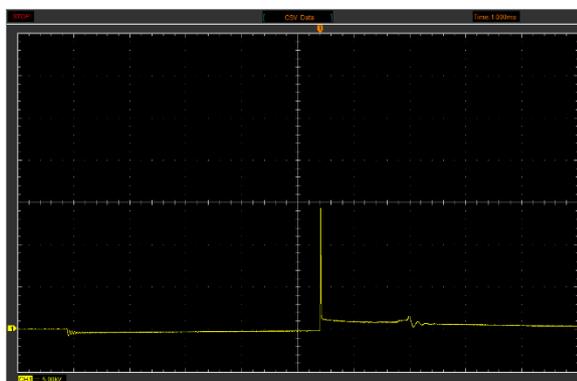
#### 4.2.5. Tiempo de quemado de la BOSCH FR8DP con la bobina BOSCH.

En la tabla 44 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch FR8DP con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 40 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 5.

**Tabla 44.**

#### **Tiempo de quemado con la combinación 5.**

DWELL	4,515 ms
Tiempo de quemado	1,585 ms
Voltaje máximo	17289,83 V



**Figura 39: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 5.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 0,06%, disminuye el tiempo de quemado un 5,79%.

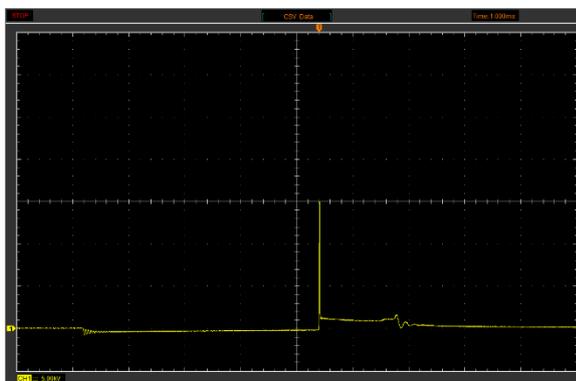
#### 4.2.6. Tiempo de quemado de la BERU 14FR7DPUX02 con la bobina BOSCH.

En la tabla 45 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Beru 14FR7DPUX02 con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 41 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 6.

**Tabla 45.**

#### **Tiempo de quemado con la combinación 6.**

DWELL	4,2075 ms
Tiempo de quemado	1,3875 ms
Voltaje máximo	14886,25 V



**Figura 40: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 6.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 6,86%, disminuye el tiempo de quemado un 17,53%.

#### 4.2.7. Tiempo de quemado de la DENSO K16PR-U con la bobina BOSCH.

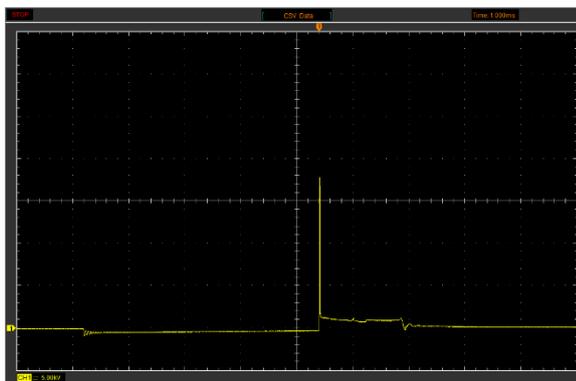
En la tabla 46 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Denso K16PR-U con la bobina Bosch, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente;

en la figura 42 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 7.

**Tabla 46.**

**Tiempo de quemado con la combinación 7.**

DWELL	4,2125 ms
Tiempo de quemado	1,45 ms
Voltaje máximo	17795,44 V



**Figura 41: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 7.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 6,75%, disminuye el tiempo de quemado un 13,81%.

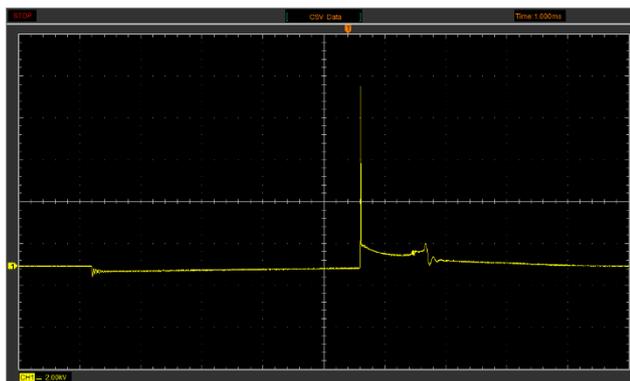
#### 4.2.8. Tiempo de quemado de la Bosch FR7LDC con la bobina Beru

En la tabla 47 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch FR7LDC con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 43 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 8.

**Tabla 47.**

**Tiempo de quemado con la combinación 8.**

DWELL	4,4025 ms
Tiempo de quemado	1,0725 ms
Voltaje máximo	18558,38 V



**Figura 42: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 8.**

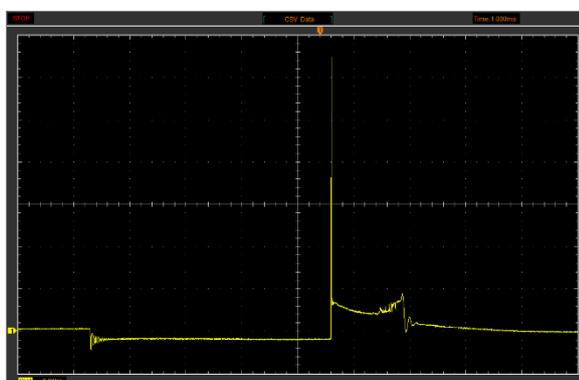
Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 2,54%, disminuye el tiempo de quemado un 36,25%.

#### **4.2.9. Tiempo de quemado de la NGK BKUR5ETC – 10 con la bobina Beru.**

En la tabla 48 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías NGK BKUR5ETC-10 con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 44 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 9.

**Tabla 48.**  
**Tiempo de quemado con la combinación 9.**

DWELL	4,305 ms
Tiempo de quemado	1,2675 ms
Voltaje máximo	18269,83 V



**Figura 43: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 9.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 4,70%, disminuye el tiempo de quemado un 24,66%.

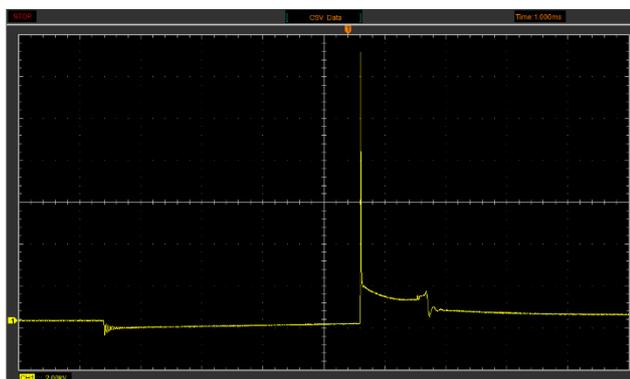
#### 4.2.10. Tiempo de quemado BOSCH FR78X4 - Bobina BERU.

En la tabla 49 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch FR78X4 con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 45 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 10.

**Tabla 49.**

#### **Tiempo de quemado con la combinación 10.**

DWELL	4,2 ms
Tiempo de quemado	1,08 ms
Voltaje máximo	20289,83 V



**Figura 44: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 10.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 7,02%, disminuye el tiempo de quemado un 35,81%.

#### 4.2.11. Tiempo de quemado de la BOSCH FR6LII330X con la bobina BERU.

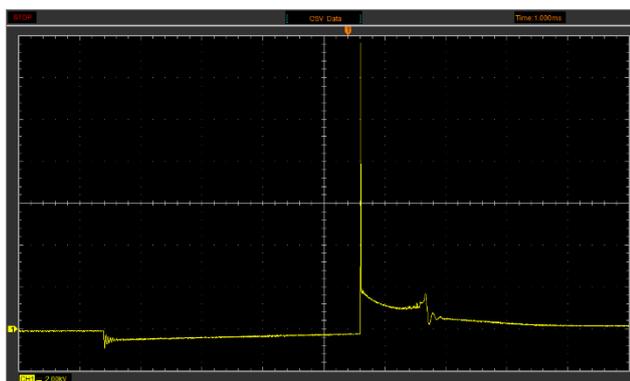
En la tabla 50 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch FR6LII330X con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente;

en la figura 46 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 11.

**Tabla 50.**

**Tiempo de quemado con la combinación 11.**

DWELL	4,21 ms
Tiempo de quemado	1,3175 ms
Voltaje máximo	22540,73 V



**Figura 45: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 11.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 6,80%, disminuye el tiempo de quemado un 21,69%.

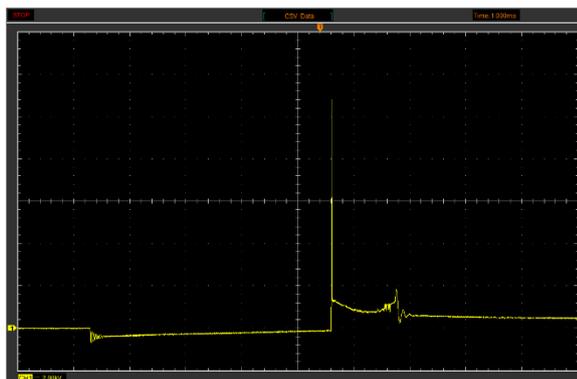
#### 4.2.12. Tiempo de quemado de la BOSCH FR8DP con la bobina BERU.

En la tabla 51 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Bosch fr8dp con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 47 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 12.

**Tabla 51.**

**Tiempo de quemado con la combinación 12.**

DWELL	4,31 ms
Tiempo de quemado	1,155 ms
Voltaje máximo	21021,29 V



**Figura 46: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 12.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 4,59%, disminuye el tiempo de quemado un 31,35%.

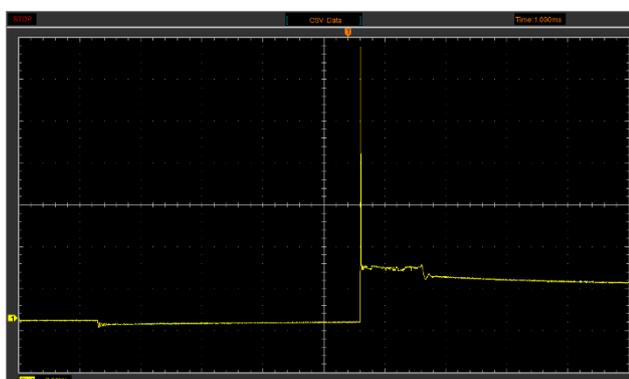
#### **4.2.13. Tiempo de quemado de la BERU 14FR7DPUX02 con la bobina BERU.**

En la tabla 52 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Beru 14fr7dpux02 con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 48 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 13.

**Tabla 52.**

#### **Tiempo de quemado con la combinación 13.**

DWELL	4,3025 ms
Tiempo de quemado	1,005 ms
Voltaje máximo	20902,72 V



**Figura 47: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 13.**

Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 4,75%, disminuye el tiempo de quemado un 40,26%.

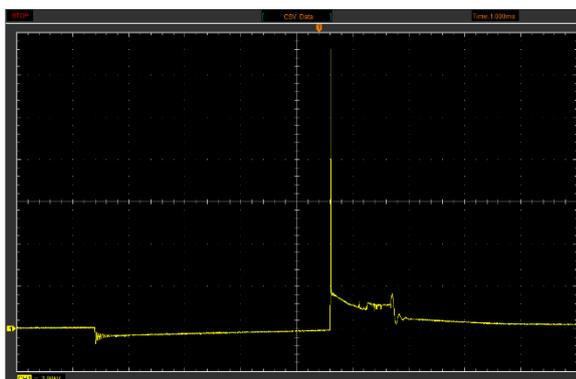
#### 4.2.14. Tiempo de quemado DENSO K16PR-U con la bobina BERU.

En la tabla 53 se muestra el tiempo de quemado que generan la combinación de las bujías Denso k16pr-u con la bobina Beru, estos tiempos de quemado son comparados con el tiempo obtenidos inicialmente; en la figura 49 se muestra el oscilograma secundario generado por la combinación 14.

**Tabla 53.**

#### **Tiempo de quemado con la combinación 14.**

DWELL	4,2 ms
Tiempo de quemado	1,105 ms
Voltaje máximo	19267,19 V



**Figura 48: Oscilograma del circuito secundario de la combinación 14.**

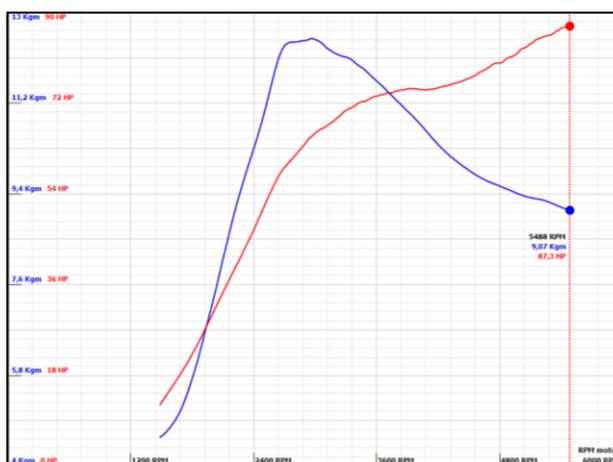
Al realizar esta combinación se disminuye el tiempo DWELL en un 7,02%, disminuye el tiempo de quemado un 34,32%.

#### 4.3. Análisis de los parámetros característicos iniciales (potencia, torque y consumo específico de combustible).

En la tabla 54 se observan los valores de la prueba inicial dinamométrica en los cuales se encuentra la potencia, torque; en la figura 50 se observa la gráfica de potencia, torque en función de las revoluciones del motor.

**Tabla 54.**  
**Valores de los parámetros característicos iniciales.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1484	12	4,56
2241	40,1	9,23
2688	58,9	12,29
2869	63,1	12,43
2971	65,4	12,48
3021	66,3	12,45
3160	68,1	12,24
3352	71	12,07
3645	73,7	11,57
4166	74,8	10,46
4974	81,8	9,41
5503	87,4	9,06



**Figura 49: Curvas de potencia y torque de parámetros iniciales.**

En la tabla 55 se observa los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica iniciales con los componentes originales del vehículo, estos valores son la referencia para la comparación con las siguientes pruebas realizadas posteriormente.

**Tabla 55.**  
**Valores máximos de los parámetros iniciales.**

Potencia máxima	87,4 HP
Torque máximo	12,48 Kgm
Consumo de combustible	12,61 lt/h

#### 4.4. Análisis individual de los parámetros característicos (potencia, torque y consumo específico de combustible).

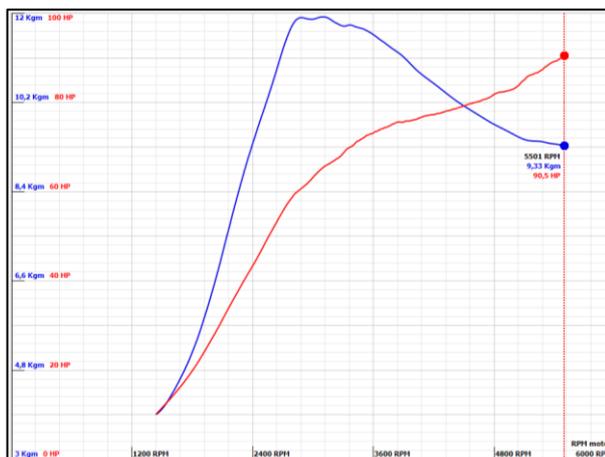
El siguiente análisis corresponde a las catorce combinaciones mencionadas en el capítulo 3, en las cuales se toman los valores máximos de cada prueba realizada.

##### 4.4.1. Resultados de la combinación BOSCH FR7LDC con la bobina BOSCH.

En la tabla 56 se muestran los valores obtenidos en la prueba dinamométrica, en la prueba se utilizaron bujías Bosch FR7LDC y una bobina Bosch; en la figura 51 se observan las curvas de potencia y torque.

**Tabla 56.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 1.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1438	9,9	3,89
2098	31,1	7,12
2731	56,6	11,44
2976	62,5	11,88
3101	65,3	11,93
3168	66,3	11,89
3355	69,8	11,76
3575	73	11,61
3868	75,6	11,18
4341	78,1	10,37
5046	83,8	9,51
5507	90,6	9,33



**Figura 50: Curvas de potencia y torque de la combinación 1.**

En la tabla 57 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores son comparados con los datos iniciales.

**Tabla 57.**  
**Valores máximos de la combinación 1**

Potencia máxima	90,6 HP
Torque máximo	11,93 Kgm
Consumo de combustible	12,43 lt/h

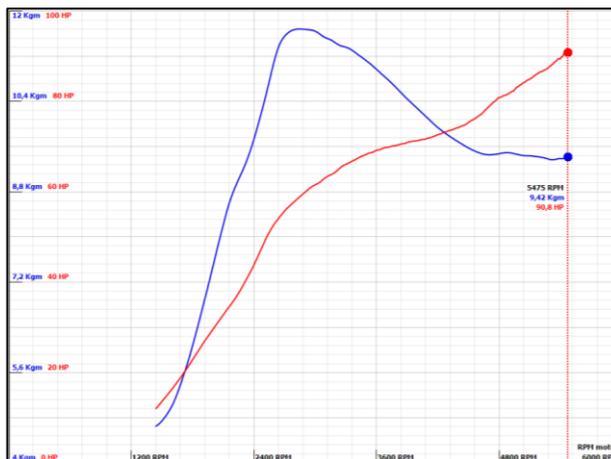
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 3,53%, disminuye el torque en un 4,41% y se disminuye el consumo de combustible en un 1,43%.

#### 4.4.2. Resultados de la combinación NGK BKUR5ETC – 10 con la bobina BOSCH.

En la tabla 58 se muestran los valores obtenidos en la prueba dinamométrica, para esta prueba se utilizaron bujías NGK BKUR5ETC-10, una bobina marca Bosch; en la figura 52 se muestra las curvas de potencia y torque obtenidas en esta prueba.

**Tabla 58.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 2.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1439	11,8	4,63
2090	32,3	8,13
2582	52,1	10,97
2850	58,8	11,68
2900	59,8	11,68
3166	63,8	11,48
3471	67,9	11,17
3881	70,7	10,49
4512	75,4	9,57
5073	84,6	9,44
5343	88,5	9,37
5463	91	9,41
5501	90,8	9,39



**Figura 51: Curvas de potencia y torque de la combinación 2.**

En la tabla 59 se muestra los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométría, estos valores son comparados con los valores iniciales obtenidos.

**Tabla 59.**  
**Valores máximos de la combinación 2.**

Potencia máxima	91 HP
Torque máximo	11,68 Kg
Consumo de combustible	12,40 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 3,95%, disminuye el torque en un 6,41% y se disminuye el consumo de combustible en un 1,67%.

#### 4.4.3. Resultados de la combinación BOSCH FR78X4 con la bobina BOSCH.

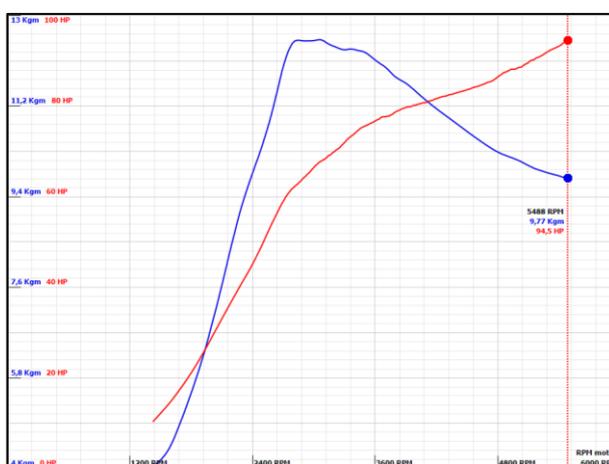
En la tabla 60 se muestran los valores obtenidos en la prueba dinamométrica, en esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR78X4, una bobina Bosch; en la figura 53 se muestra las curvas de potencia, torque.

**Tabla 60.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 3.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kg]
1425	10,2	4,04

Continua 

2168	35,7	8,21
2741	60,4	12,23
2981	65,9	12,5
3061	67,7	12,52
3186	69,7	12,4
3389	73,7	12,33
3629	77	12,08
3939	79,9	11,61
4462	83,3	10,76
5107	89,7	10,02
5501	94,7	9,76



**Figura 52: Curvas de potencia y torque de la combinación 3.**

En la tabla 61 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 61.**  
**Valores máximos de la combinación 3.**

Potencia máxima	94,7 HP
Torque máximo	12,52 Kgm
Consumo de combustible	12,26 lt/h

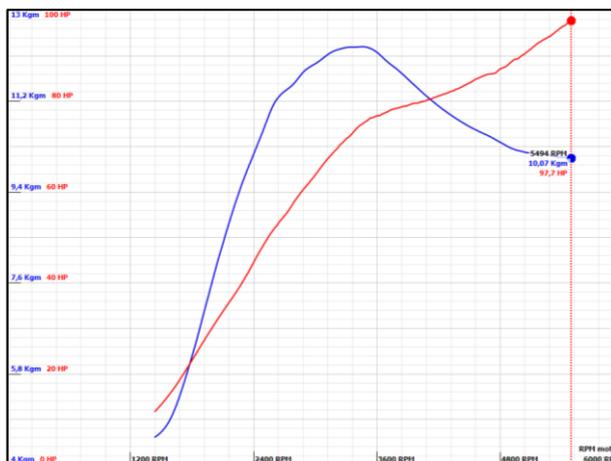
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 7,71%, aumenta el torque en un 0,32% y se disminuye el consumo de combustible en un 2,78%.

#### 4.4.4. Resultados de la combinación BOSCH FR6LII330X con la bobina BOSCH.

En la tabla 62 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; en esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR6LII330X, una bobina Bosch; en la figura 54 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 62.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 4.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1437	11,5	4,53
2018	30,8	7,78
2430	45,7	10,29
2695	54,6	11,38
2976	63	11,91
3265	70,8	12,25
3466	75,1	12,28
3575	76,5	12,21
3977	79,6	11,5
4625	85,4	10,58
5201	93,2	10,15
5502	97,9	10,07



**Figura 53: Curvas de potencia y torque de la combinación 4.**

En la tabla 63 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores serán comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 63.**  
**Valores máximos de la combinación 4.**

Potencia máxima	97,9 HP
Torque máximo	12,28 Kgm
Consumo de combustible	12,74 lt/h

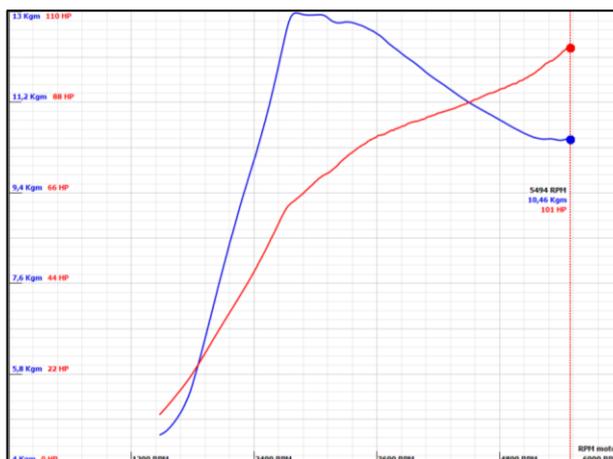
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 10,73%, disminuye el torque en un 1,60% y aumenta el consumo de combustible en un 1,03%.

#### **4.4.5. Resultados de la combinación BOSCH FR8DP con la bobina BOSCH.**

En la tabla 64 se muestra los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; en esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR8DP, una bobina Bosch; en la figura 55 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 64.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 5.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1477	11,9	4,57
2393	46,4	9,99
2813	64,4	12,98
2822	64,6	12,98
3070	70,1	12,94
3274	74,1	12,79
3494	78,1	12,69
3740	81,1	12,34
4110	84,5	11,76
4742	90,4	10,92
5255	97,4	10,47
5496	101	10,46
5503	101	10,45



**Figura 54: Curvas de potencia y torque de la combinación 5.**

En la tabla 65 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 65.**  
**Valores máximos de la combinación 5.**

Potencia máxima	101 HP
Torque máximo	12,98 Kgm
Consumo de combustible	12,56 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 13,46%, aumenta el torque en un 4,01% y se disminuye el consumo de combustible en un 0,39%.

#### 4.4.6. Resultados de la combinación BERU 14FR7DPUX02 con la bobina BOSCH.

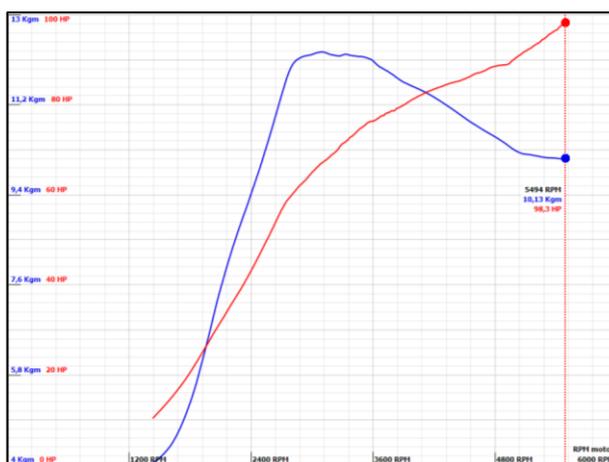
En la tabla 66 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; para esta prueba se utilizaron bujías Beru 14FR7DPUX02, una bobina Bosch; en la figura 56 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 66.**  
**Valores de potencia y torque de la combinación 6.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1433	10,2	4,03
2270	38	8,66

Continua 

2819	60,4	12,03
3095	67	12,26
3304	71,4	12,2
3512	75,3	12,16
3739	78,2	11,88
4080	82,2	11,49
4661	87,2	10,73
5215	93,5	10,18
5504	98,5	10,13



**Figura 55: Curvas de potencia y torque de la combinación 6.**

En la tabla 67 se muestra los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 67.**  
**Valores máximos de la combinación 6.**

Potencia máxima	98,5 HP
Torque máximo	12,26 Kgm
Consumo de combustible	12,46 lt/h

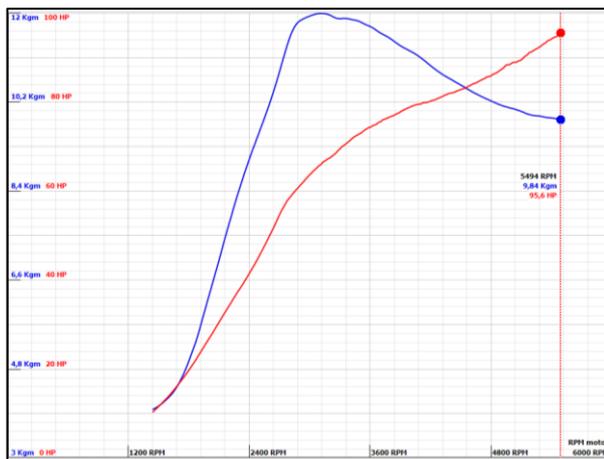
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 11,27%, disminuye el torque en un 1,76% y se disminuye el consumo de combustible en un 1,66%.

#### 4.4.7. Resultados de la combinación DENSO K16PR-U con la bobina BOSCH.

En la tabla 68 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; para esta prueba se utilizaron bujías denso K16PR-U, una bobina Bosch; en la figura 57 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 68.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 7.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1444	10,1	3,97
2254	36	8,1
2823	59	11,6
3114	65,9	12
3121	66,1	11,99
3341	70,2	11,89
3563	73,9	11,77
3825	76,9	11,46
4164	79,9	11,01
4711	85	10,31
5216	91,4	9,93
5503	95,7	9,84



**Figura 56: Curvas de potencia y torque de la combinación 7.**

En la tabla 69 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 69.**  
**Valores máximos de la combinación 7**

Potencia máxima	95,7 HP
Torque máximo	12 Kgm
Consumo de combustible	12,41 lt/h

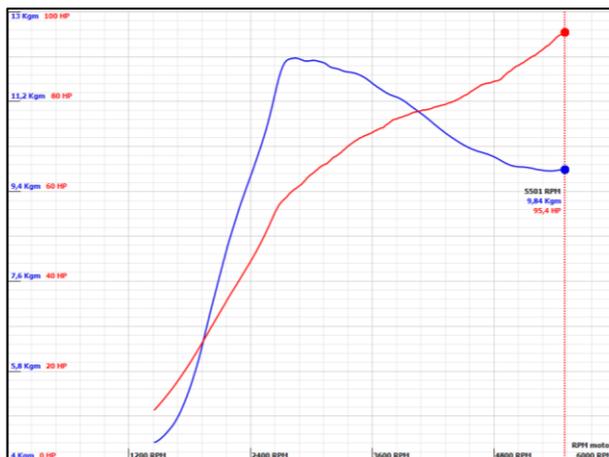
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 8,67%, disminuye el torque en un 3,84% y se disminuye el consumo de combustible en un 1,59%.

#### **4.4.8. Resultados de la combinación BOSCH FR7LDC con la bobina BERU.**

En la tabla 70 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; en esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR7LCD, una bobina Beru; en la figura 58 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 70.**  
**Valores de potencia y torque de la combinación 8.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1448	11,2	4,36
2246	38,6	8,78
2733	58,2	11,96
2843	60,5	12,07
2977	63,3	12,01
3194	67	11,89
3422	71	11,77
3690	74,1	11,44
4978	77,9	10,97
46,98	83,8	10,17
5227	90,6	9,84
5505	95,5	9,83



**Figura 57: Curvas de potencia y torque de la combinación 8.**

En la tabla 71 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 71. Valores máximos de la combinación 8.**

Potencia máxima	95,5 HP
Torque máximo	12,07 Kgm
Consumo de combustible	12,40 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 8,48%, disminuye el torque en un 3,28% y se disminuye el consumo de combustible en un 1,66%.

**4.4.9. Resultados de la combinación NGK BKUR5ETC – 10 con la bobina BERU.**

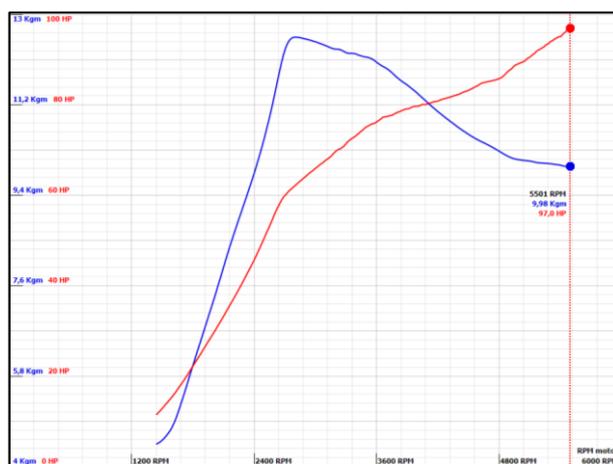
En la tabla 72 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; para esta prueba se utilizaron bujías NGK BKUR5ETC-10, una bobina Beru; en la figura 59 se observa las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 72. Valores de potencia, torque de la combinación 9.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1442	11,3	4,43

Continua

2056	31,4	7,65
2678	59,2	12,1
2807	62,2	12,55
2956	65,1	12,49
3195	69,5	12,32
3418	73,5	12,2
3680	77,3	11,95
4038	79,9	11,37
4623	84,7	10,48
5197	92,2	10,05
5495	97	9,97
5506	96,9	9,97



**Figura 58: Curvas de potencia y torque de la combinación 9.**

En la tabla 73 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 73.**  
**Valores máximos de la combinación 9**

Potencia máxima	97 HP
Torque máximo	12,55 Kgm
Consumo de combustible	12,26 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 9,88%, aumenta el torque en un 0,56% y se disminuye el consumo de combustible en un 2,77%.

#### 4.4.10. Resultados de la combinación BOSCH FR78X4 con la bobina BERU.

En la tabla 74 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; para esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR78X4, una bobina Beru; en la figura 60 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 74.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 10.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1468	11,6	4,45
2212	37,1	8,55
2737	58,6	11,95
3044	65,4	12,14
3279	70,2	12,11
3385	73	12,25
3486	73,9	12,14
3747	78,8	11,89
4041	80,5	11,5
4590	84,4	10,48
5151	92,1	10,09
5453	96,7	9,92
5508	95,7	9,97



**Figura 59: Curvas de potencia y torque de la combinación 10.**

En la tabla 75 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 75.**  
**Valores máximos de la combinación 10.**

Potencia máxima	96,7 HP
Torque máximo	12,25 Kgm
Consumo de combustible	12,33 lt/h

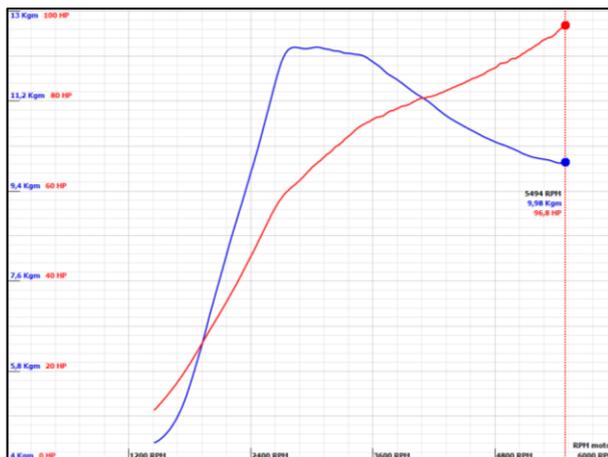
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 9,62%, disminuye el torque en un 1,84% y se disminuye el consumo de combustible en un 2,22%.

#### **4.4.11. Resultados de la combinación BOSCH FR6LII330X con la bobina BERU.**

En la tabla 76 se muestra los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; para esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR6LII330X, una bobina Beru; en la figura 61 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 76.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 11.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1450	11,2	4,35
2295	40,8	9,04
2794	60,7	12,26
3050	66,1	12,28
3072	66,5	12,28
3273	70,3	12,19
3485	74,5	12,12
3735	77,2	11,77
4093	80,7	11,27
4665	85,7	10,52
5201	92,3	10,07
5500	96,8	9,97



**Figura 60: Curvas de potencia y torque de la combinación 11.**

En la tabla 77 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 77.**  
**Valores máximos de la combinación 11.**

Potencia máxima	96,8 HP
Torque máximo	12,28 Kgm
Consumo de combustible	12,31 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 9,71%, disminuye el torque en un 1,60% y se disminuye el consumo de combustible en un 2,38%.

**4.4.12. Resultados de la combinación BOSCH FR8DP con la Bobina BERU.**

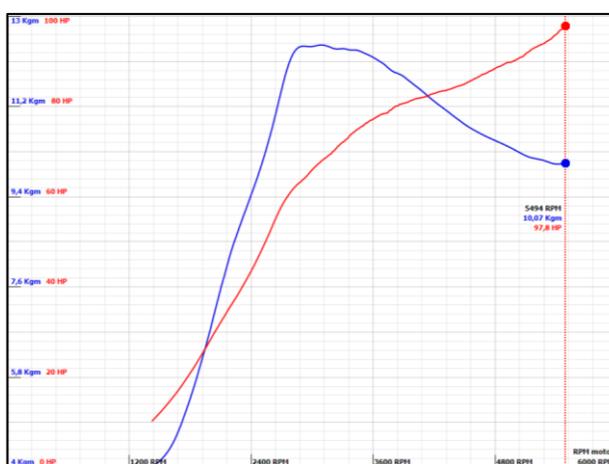
En la tabla 78 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; en esta prueba se utilizaron bujías Bosch FR8DP, una bobina Beru; en la figura 62 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 78.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 12.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1423	10,1	4,01

Continua

2168	34,6	8,05
2779	60,6	12,09
3083	67,7	12,43
3095	67,9	12,43
3312	72,2	12,35
3523	76,1	12,26
3760	79	11,96
4082	82	11,51
4632	86,5	10,69
5187	93	10,17
5501	98	10,07



**Figura 61: Curvas de potencia y torque de la combinación 12.**

En la tabla 79 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamoétrica, estos valores son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 79.**  
**Valores máximos de la combinación 12.**

Potencia máxima	98 HP
Torque máximo	12,43 Kgm
Consumo de combustible	12,34 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 10,81%, disminuye el torque en un 0,40% y se disminuye el consumo de combustible en un 2,14%.

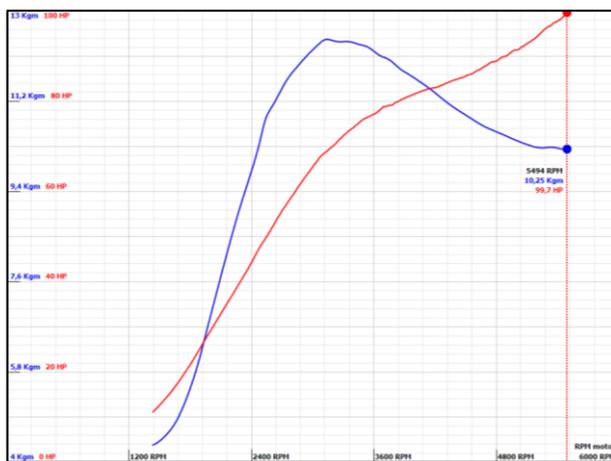
#### 4.4.13. Resultados de la combinación BERU 14FR7DPUX02 con la Bobina BERU.

En la tabla 80 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; en esta prueba se utilizaron bujías Beru 14FR7DPUX02, una bobina Beru; en la figura 63 se muestra las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 80.**

**Valores de potencia, torque de la combinación 13.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1430	11	4,33
2246	38,3	8,78
2644	53,6	11,24
2965	64,3	12,16
3145	69	12,44
3221	70,5	12,4
3457	75,3	12,34
3726	78,9	12,06
4121	82,7	11,5
4747	88,6	10,64
5241	95,2	10,27
5504	99,9	10,24



**Figura 62: Curvas de potencia y torque de la combinación 13.**

En la tabla 81 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 81.**  
**Valores máximos de la combinación 13.**

Potencia máxima	99,9 HP
Torque máximo	12,34 Kgm
Consumo de combustible	12,52 lt/h

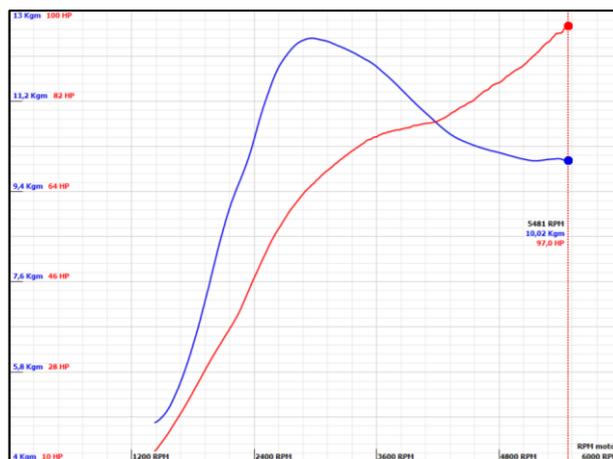
Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 12,51%, disminuye el torque en un 1,12% y se disminuye el consumo de combustible en un 0,71%.

#### 4.4.14. Resultados de la combinación DENSO K16PR-U con la Bobina BERU.

En la tabla 82 se muestran los valores de potencia, torque obtenidos en la prueba dinamométrica; para esta prueba se utilizaron bujías Denso k16pr-u, una bobina Beru; en la figura 64 se muestran las curvas de potencia, torque obtenidas en la prueba dinamométrica.

**Tabla 82.**  
**Valores de potencia, torque de la combinación 14.**

RPM	POTENCIA [HP]	TORQUE [Kgm]
1424	12	4,77
2050	32,8	8,27
2851	62,7	12,39
2970	65,3	12,46
3126	68,2	12,39
3396	72,5	12,15
3729	75,9	11,67
4261	78,6	10,65
4923	87,5	10,11
5298	93,9	10,04
5482	97,1	10,02
5502	97	10,02



**Figura 63: Curvas de potencia y torque de la combinación 14.**

En la tabla 83 se muestran los valores máximos obtenidos en la prueba dinamométrica, estos valores son comparados con los valores obtenidos inicialmente.

**Tabla 83.**  
**Valores máximos de la combinación 14.**

Potencia máxima	97,1 HP
Torque máximo	12,46 Kg
Consumo de combustible	12,50 lt/h

Al realizar esta combinación se incrementa la potencia en un 9,99%, disminuye el torque en un 0,16% y se disminuye el consumo de combustible en un 0,87%.

#### 4.1. Comparación de las potencias de motor obtenidas

**Tabla 84.**  
**Comparación de las potencias obtenidas.**

Tipo de Bujía	BOBINA BOSCH	BOBINA BERU
BOSCH FR7LDC	90,6	95,5
NGK BKUR5ETC	91	97
BOSCH FR78LX4	94,7	96,7
BOSCH FR6LI330X	96,8	96,8
BOSCH FR8DP	101	98
BERU 14FR7DPUX02	98,5	99,9
DENSO K16PR-U	95,7	97,1

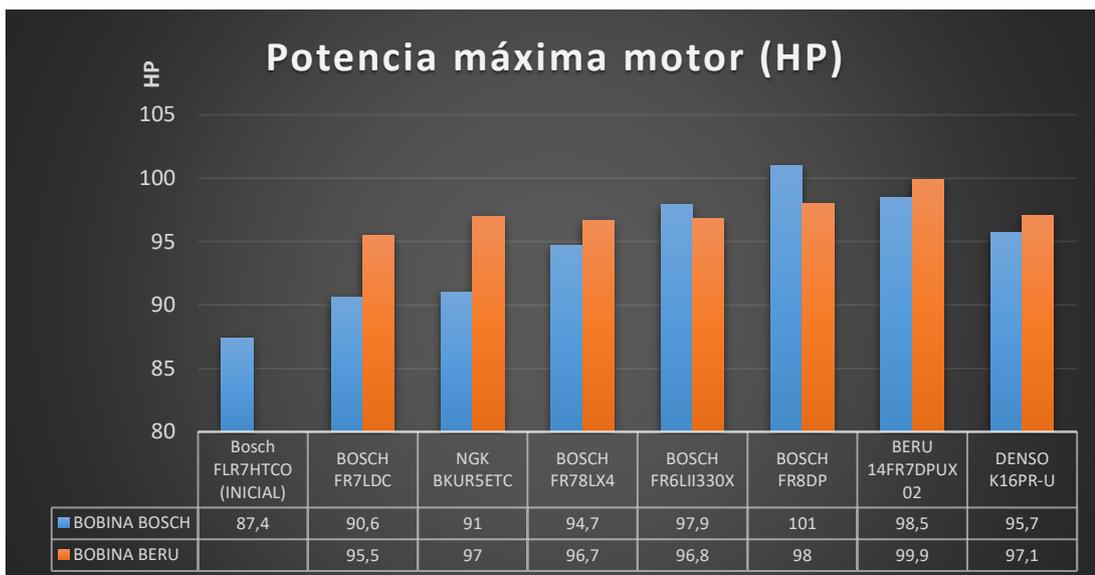


Figura 64: Comparación de las potencias de motor.

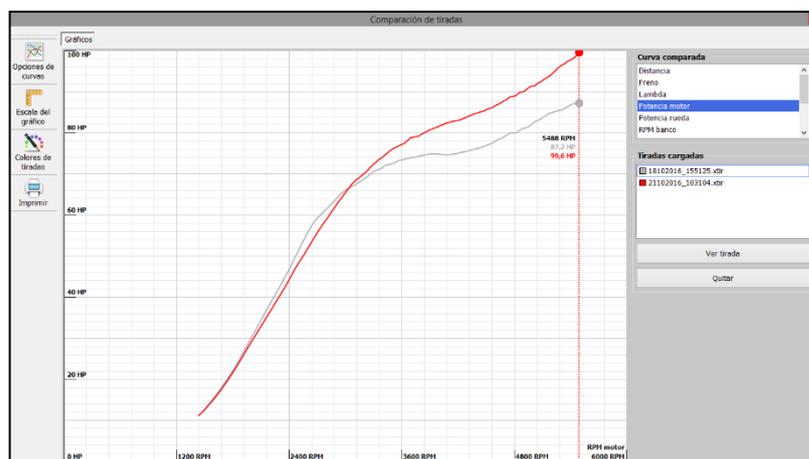


Figura 65: Comparación de las curvas de mayor y menor potencia.

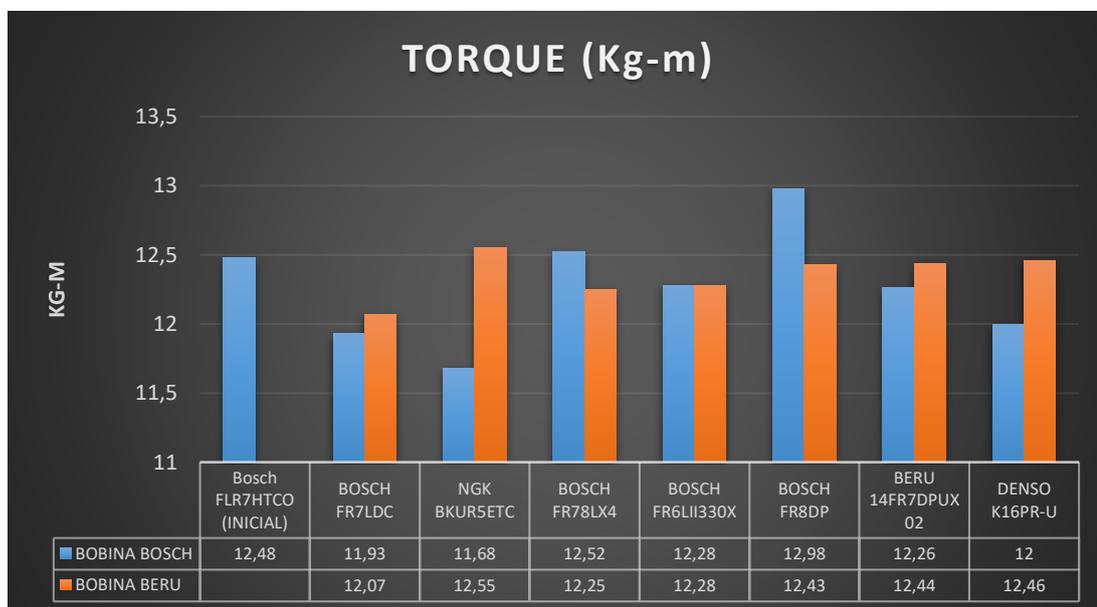
Tabla 85.  
Comparación de menor y mayor potencia

Tipo de bujía	Tipo de bobina	Potencia (HP)	Potencia (kW)	RPM
BOSCH 3 electrodos	Bobina BOSCH	87,2	65,02	5488
BOSCH FR8DP	Bobina BOSCH	101	75,31	5503

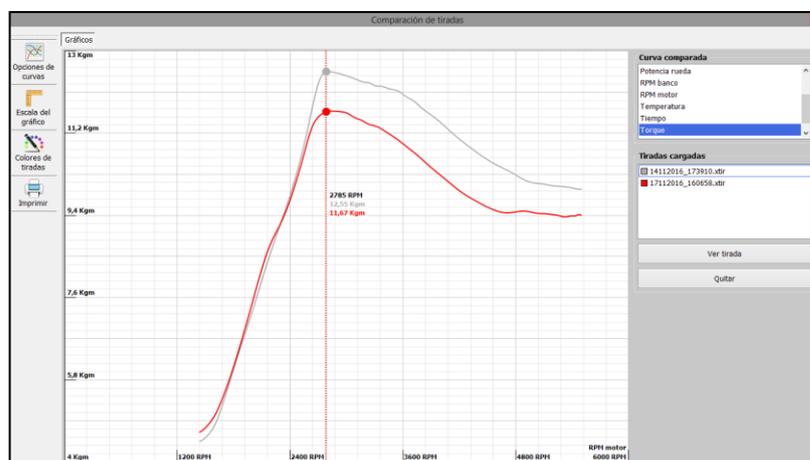
### 4.1.1. Comparación de los Torque de motor obtenidos.

**Tabla 86.**  
**Comparación de los torques obtenidos**

Tipo de Bujía	BOBINA BOSCH	BOBINA BERU
BOSCH DE 2 ELECTRODOS	11,93	12,07
NGK DE 3 ELECTRODOS	11,68	12,55
BOSCH DE 4 ELECTRODOS	12,52	12,25
BOSCH DE IRIDIO	12,28	12,28
BOSCH DE PLATINO	12,98	12,43
BERU 14FR7DPUX02	12,26	12,44
DENSO K16PR-U	12	12,46



**Figura 66: Comparación de los torques obtenidos.**



**Figura 67. Comparación del mayor y menor torque obtenidos.**

**Tabla 87.**  
**Comparación de las curvas de mayor y menor torque**

Tipo de bujía	Tipo de bobina	Torque (Kgm)	Torque (Nm)	RPM
Bujía NGK	Bobina BOSCH	11,67	114,44	2785
Bujía FR8DP	Bobina BOSCH	12,98	127,20	2822

#### 4.2. Parámetros termodinámicos.

Se obtuvieron los siguientes datos termodinámicos al realizar las combinaciones especificadas en el capítulo 3, en las cuales están calculadas la presión media del ciclo, eficiencia térmica, rendimiento mecánico, rendimiento indicado

a) Presión media del ciclo

$$P_{mc} = \frac{T}{V_h} * i$$

$$P_{mc} = \frac{122,38}{0,0003995} * 4$$

$$P_{mc} = 12,25 \text{ Bar}$$

b) Eficiencia térmica

$$n_t = P_{mc} * \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{P_a \varepsilon^k (\gamma - 1)}$$

$$n_t = 12,38 * \frac{(10,8 - 1)(1,41 - 1)}{102811 * 10,8^{1,41} (6 - 1)}$$

$$n_t = 23,71\%$$

c) Rendimiento mecánico

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

$$n_m = \frac{87,7}{101}$$

$$n_m = 86,83 \%$$

d) Rendimiento indicado

$$n_i = \frac{n_t}{n_m}$$

$$n_i = \frac{23,71}{86,83}$$

$$n_i = 27,30\%$$

En la tabla 88 se muestra los valores de los parámetros característicos calculados, para los cuales se utilizó las fórmulas del apartado 4.6, además se tomó en cuenta el valor de la presión atmosférica que existe en la ciudad de Latacunga.

**Tabla 88.**  
**Parámetros característicos calculados**

	Presión media del ciclo [bar]		Potencia efectiva [HP]		Potencia indicada [HP]	
	Bobina Bosch	Bobina Beru	Bobina Bosch	Bobina Beru	Bobina Bosch	Bobina Beru
Bosch FLR7HTCO (INICIAL)	12,25		87,70		101	
BOSCH FR7LDC	11,71	11,85	90,60	95,50	101	101
NGK BKUR5ETC	11,46	12,32	91,00	97,00	101	101
BOSCH FR78LX4	12,29	12,03	94,70	96,70	101	101
BOSCH FR6LII330X	12,05	12,03	97,90	96,80	101	101
BOSCH FR8DP	12,74	12,20	101,00	98,00	101	101
BERU 14FR7DPUX02	12,04	12,21	98,50	99,90	101	101
DENSO K16PR-U	11,78	12,23	95,70	97,10	101	101

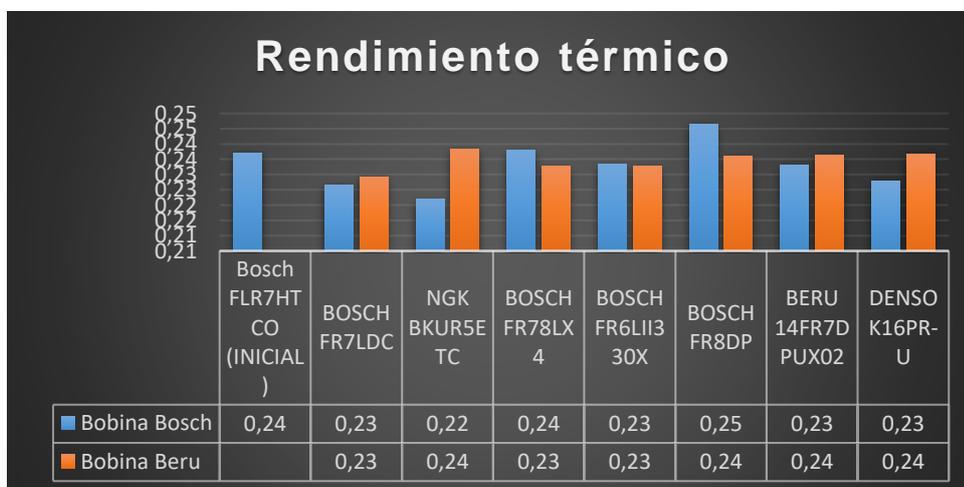
En la tabla 89 se muestran el rendimiento térmico, mecánico, indicado para cada una de las combinaciones realizadas; se puede observar que el

rendimiento mecánico es el mismo en todas las combinaciones, esto se debe a que se utilizaron los mismos aditivos, combustibles, se mantuvo los mismos accesorios para todas las pruebas realizadas.

**Tabla 89.**  
**Rendimiento térmico, mecánico, indicado**

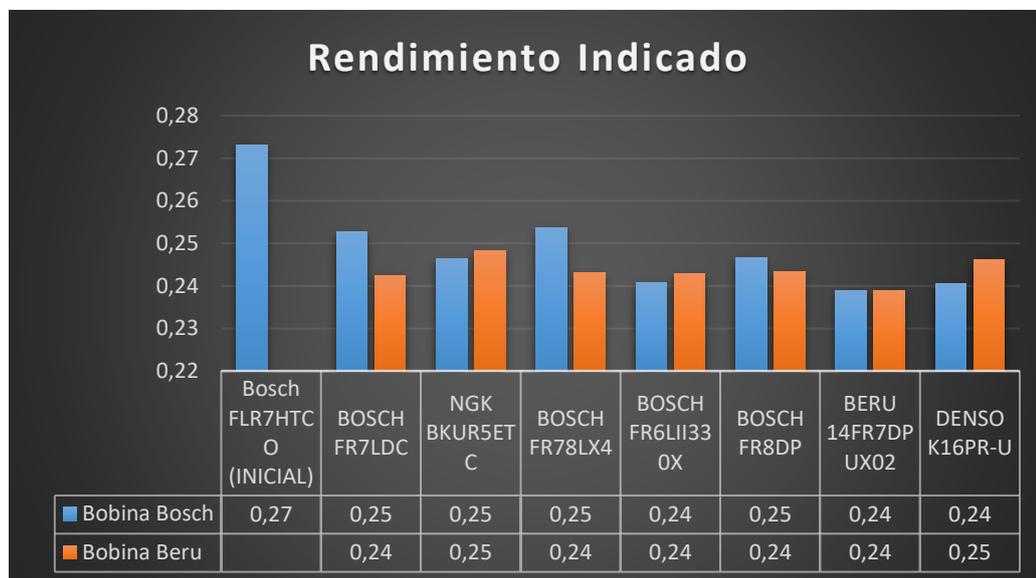
	Rendimiento térmico		Rendimiento mecánico		Rendimiento indicado	
	Bobina Bosch	Bobina Beru	Bobina Bosch	Bobina Beru	Bobina Bosch	Bobina Beru
Bosch FLR7HTCO (INICIAL)	0,24		0,87		0,27	
BOSCH FR7LDC	0,23	0,23	0,90	0,95	0,25	0,24
NGK BKUR5ETC	0,22	0,24	0,90	0,96	0,25	0,25
BOSCH FR78LX4	0,24	0,23	0,94	0,96	0,25	0,24
BOSCH FR6LII330X	0,23	0,23	0,97	0,96	0,24	0,24
BOSCH FR8DP	0,25	0,24	1,00	0,97	0,25	0,24
BERU 14FR7DPUX02	0,23	0,24	0,98	0,99	0,24	0,24
DENSO K16PR-U	0,23	0,24	0,95	0,96	0,24	0,25

En la figura 69 se muestra el rendimiento térmico que genera cada combinación; la combinación de la bujía Bosch FR8DP con una bobina Bosch es la que genera un mayor rendimiento térmico, mientras la combinación de la bujía NGK BKUR5ETC-10 con una bobina Bosch es la que genera un menor rendimiento térmico.



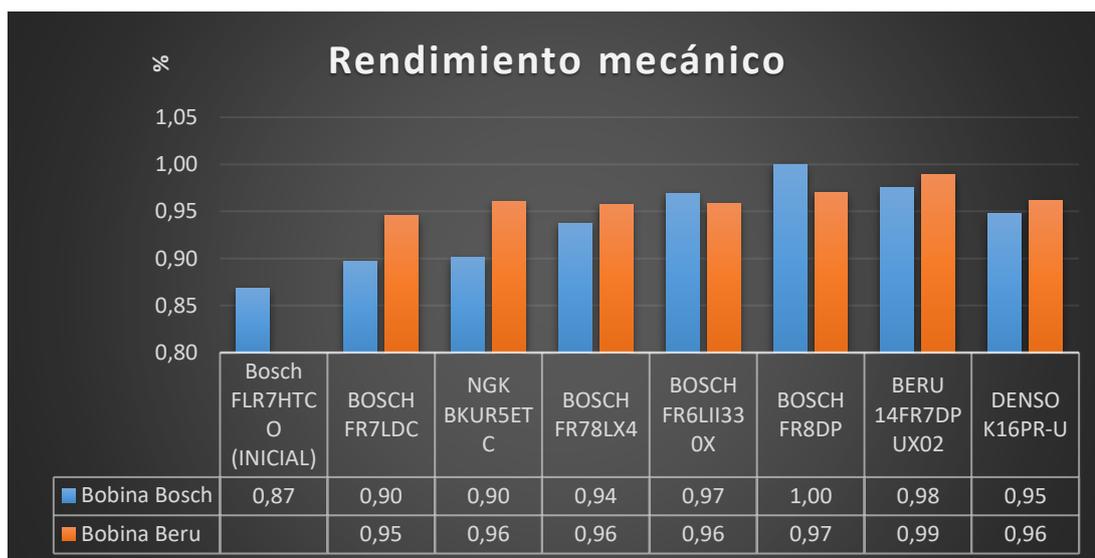
**Figura 68: Rendimiento térmico**

En la figura 70 se muestra la comparación del rendimiento indicado, al realizar las combinaciones se observa una disminución de entre el 3% al 4% del rendimiento indicado, la combinación de las bujías Bosch FR8DP con la bobina Bosch indica un rendimiento indicado de 25%.



**Figura 69: Rendimiento indicado**

En la figura 71 se muestra la comparación del rendimiento mecánico en el cual se puede observar que el rendimiento mecánico inicial es del 87% el cual se incrementa al realizar las diferentes combinaciones.



**Figura 70: Rendimiento mecánico**

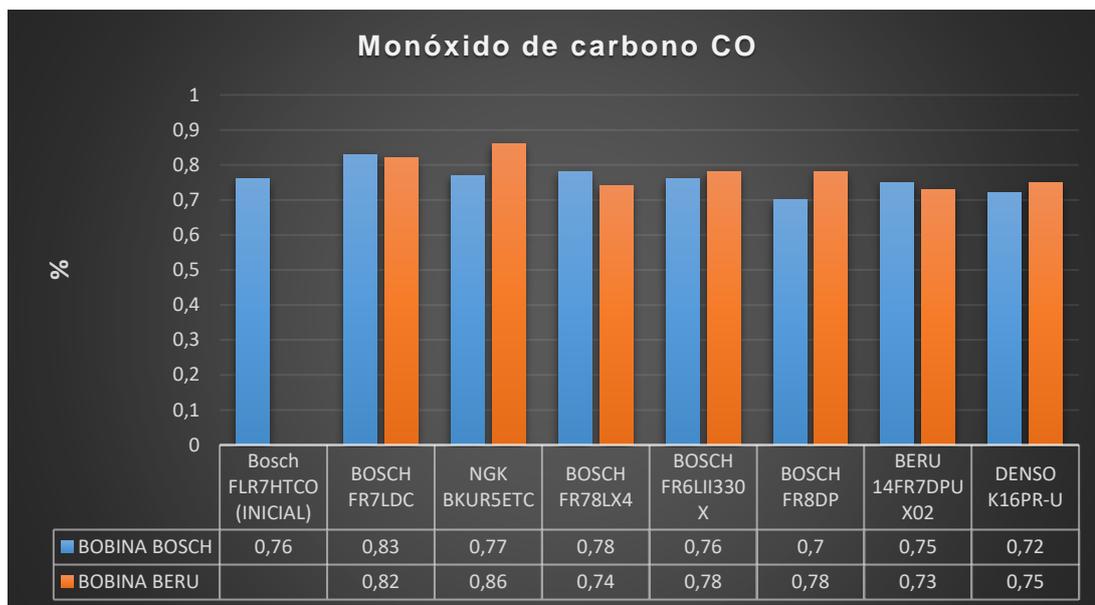
### 4.3. Análisis de las emisiones de gases (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC)

Se realizó pruebas estáticas para medir el nivel de emisiones contaminantes que produce cada combinación.

#### 4.3.1. Análisis de gases en prueba estática.

#### Monóxido de carbono CO

En la figura 71 se observa el nivel de monóxido de carbono que genera cada combinación, todos los valores están por debajo del límite que establece la norma INEN 017:2008.



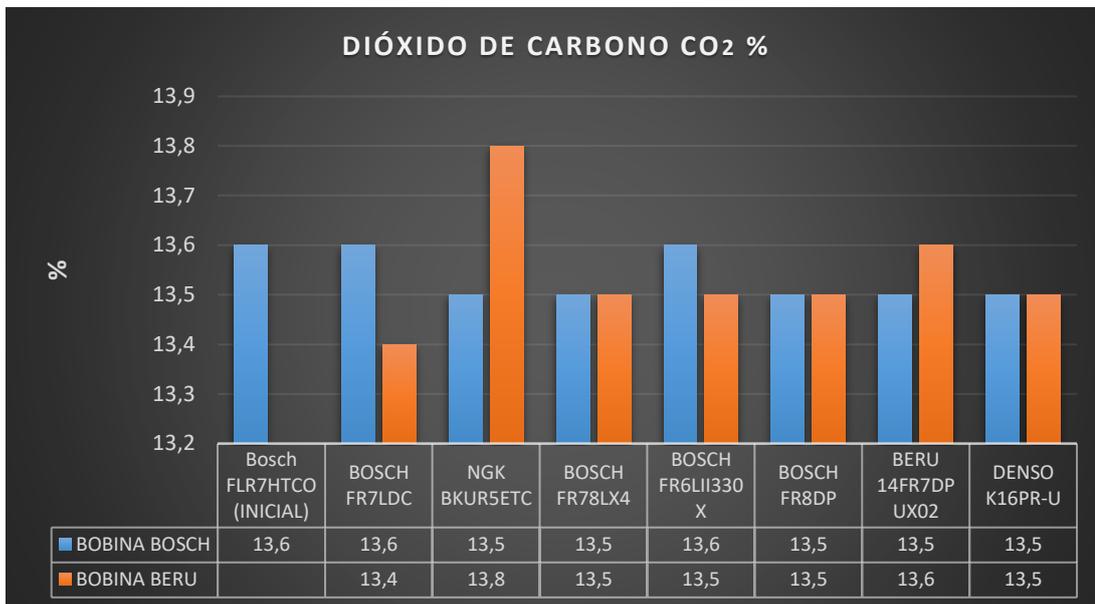
**Figura 71. Comparación de las emisiones de CO.**

Al realizar las combinaciones se obtuvo que la combinación 9 es la que más produce monóxido de carbono con un 0,86% y la combinación 5 es la que menos produce monóxido de carbono con un 0,70%.

#### Dióxido de carbono CO<sub>2</sub>

En la figura 72 se muestra la comparación de las emisiones de anhídrido carbónico que genera cada combinación, la combinación de las

bujías NGK BKUR5ETC son las que generan mayor porcentaje de anhídrido carbónico.

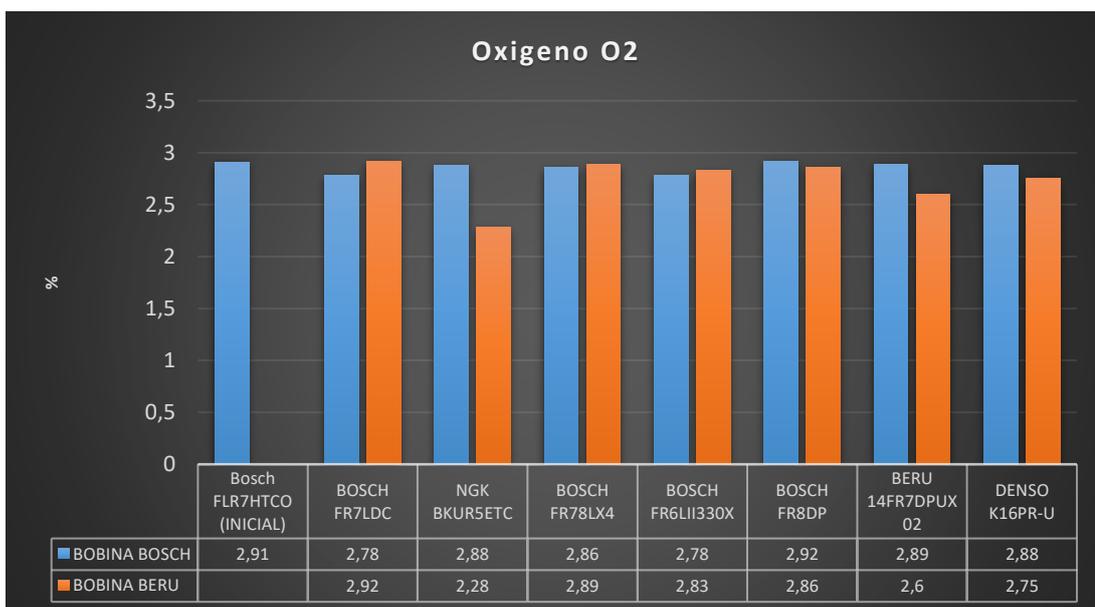


**Figura 72. Comparación de las emisiones de CO2.**

Al realizar las combinaciones se obtuvo que la combinación 9 es la que más produce anhídrido carbónico con un 13,80% y la combinación 8 es la que menos produce anhídrido carbónico con un 13,4%.

**Oxigeno O2**

En la figura 73 se muestra el porcentaje de oxígeno que genera cada una de las combinaciones realizadas.

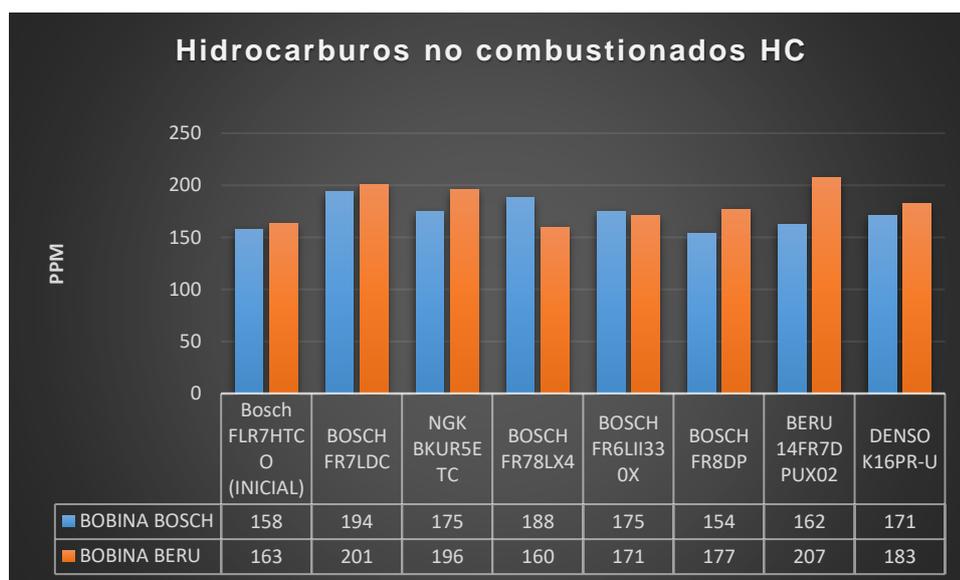


**Figura 73: Comparación de las emisiones de O2.**

Al realizar las combinaciones se obtuvo que la combinación 9 es la que más produce anhídrido carbónico con un 13,80% y la combinación 8 es la que menos produce anhídrido carbónico con un 13,4%.

### Hidrocarburos no combustionados HC

En la figura 74 se muestra los valores de hidrocarburos no combustionados que se generan al realizar cada combinación; la combinación de las bujías Bosch FR7LDC con la bobina Bosch supera el límite establecido por la norma INEN 017:2008 en la cual establece un límite de 200 ppm, este exceso de hidrocarburos no combustionados se debe a que se realizó las pruebas en un vehículo sin catalizador.



**Figura 74: Comparación de las emisiones de HC.**

## CAPÍTULO V

### 5. MARCO ADMINISTRATIVO

#### 5.1. Recursos utilizados

Con el propósito de darle la iniciativa al proyecto de investigación el cual debe ser de una manera organizada y eficiente, se emplea este último capítulo el cual permitirá realizar un análisis de los recursos empleados los cuales son: institucional, humanos, tecnológicos y materiales, los cuales son primordiales en el cumplimiento de la investigación.

##### 5.1.1. Recurso institucional

En el desarrollo de la investigación como parte esencial se detallan los recursos institucionales.

**Tabla 90.**  
**Recursos Institucionales**

<b>Institución:</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
<b>Dirección:</b>	Ecuador, Cotopaxi-Latacunga Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez
<b>Teléfono:</b>	593(3)2810-206 / 2813-130 / 2810-326

##### 5.1.2. Recurso humano.

Para el cumplimiento de la investigación se aplicaron los siguientes recursos humanos.

**Tabla 91.**  
**Recursos Humanos**

<b>Investigadores:</b>	Jaime Andrés Rodríguez Mendoza Vinicio Gonzalo Tenorio Sangucho
<b>Tutor:</b>	Ing. Germán Erazo
<b>Colaborador científico:</b>	Ing. Luis Mena

### 5.1.3. Recurso material

**Tabla 92.**  
**Recursos materiales**

Ord.	Recurso	Cantidad
1	Equipo seguridad personal	6 unidades
2	Bujías de encendido	28 unidades
3	Bobinas de encendido	2 unidades
4	Cables de bujías	4 unidades
5	Gasolina	10 galones
6	Hojas	1 resma
7	CD	2 unidades

### 5.1.4. Recurso tecnológico.

**Tabla 93.**  
**Recursos Tecnológicos**

Ord.	Recurso	Cantidad
1	Calibración dinamómetro	1 unidad
2	Ensayos par motor y potencia	15 unidades
3	Interfaz OBDWIZ OBD II	1 unidad
4	Osciloscopio Hantek 1008c	1 unidad
5	Mediciones osciloscopio	15 unidades
6	Calibración analizador Capelec	1 unidad
7	Mediciones analizador	30 unidades

### 5.1.5. Recurso de apoyo

**Tabla 94.**  
**Recursos de apoyo**

Ord.	Recurso	Cantidad
1	Laptop	70 horas
2	Calculadora	4 horas
3	Impresora	3 horas
4	Celular	5 horas

## 5.2. Presupuesto de la investigación.

La parte económica es parte fundamental para llevar a cabo la investigación el cual se detalla de la siguiente manera:

### 5.2.1. Presupuesto recurso material

**Tabla 95.**  
**Presupuesto recursos materiales**

Ord.	R. Material	Cant	Unidad	Costo Unit.	Costo Total
1	Equipo seguridad personal	6	Unidades	5.00	30.00
2	Bujías BOSCH FR7LDC	4	Unidades	6.25	25.00
3	Bujías BOSCH FR8DP	4	Unidades	6.00	24.00
4	Bujías BOSCH FR78X4	4	Unidades	6.50	26.00
5	Bujías BOSCH FR6HII332S	4	Unidades	10.50	42.00
6	Bujías BERU 14FR7DPUX02	4	Unidades	15.00	60.00
7	Bujías DENSO K16PR-U	4	Unidades	3.00	12.00
8	Bujías NGK BKUR5ETC – 10	4	Unidades	7.00	28.00
9	Bobina BOSCH	1	Unidad	120.00	120.00
10	Bobina BERU	1	Unidad	140.00	140.00
11	Cables de bujías	4	Unidades	20.00	80.00
12	Gasolina	10	Galones	2.00	20.00
13	Hojas	1	Resma	5.00	5.00
<b>Total</b>					<b>612.00</b>

### 5.2.2. Presupuesto recurso tecnológico

**Tabla 96.**  
**Presupuesto recursos tecnológicos**

Ord.	R. Material	Cant	Unidad	Costo Unit.	Costo Total
1	Calibración dinamómetro	1	Unidad	300.00	300.00
2	Interfaz OBDWIZ OBD II	1	Unidad	80.00	80.00
3	Osciloscopio Hantek 1008c	1	Unidad	150.00	150.00
4	Calibración analizador Capelec	1	Unidad	20.00	20.00
5	Mediciones analizador	30	Unidades	2.00	60.00
<b>Total</b>					<b>610.00</b>

### 5.2.3. Presupuesto recurso de apoyo

**Tabla 97.**  
**Presupuesto recursos de apoyo**

Ord.	R. Material	Cant	Unidad	Costo Unit.	Costo Total
1	Laptop	70	Horas	0.25	17.50
2	Calculadora	4	Horas	0.25	1.00
3	Impresora	3	Horas	3.00	9.00
4	Cámara fotográfica	5	Horas	2.00	10.00
<b>Total</b>					<b>37.50</b>

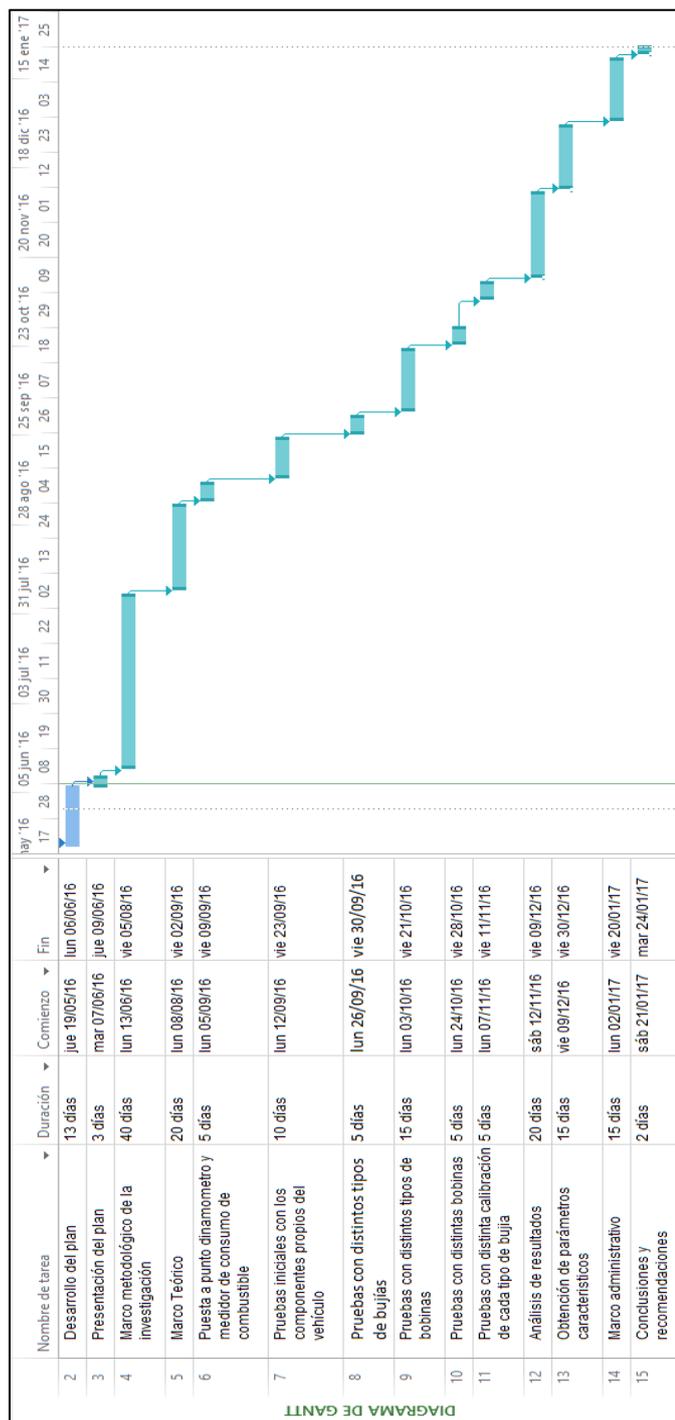
### 5.2.4. Presupuesto total

**Tabla 98.**  
**Presupuesto total de la investigación**

Recursos	Costo
Recurso material	612.00
Recurso tecnológico	610.00
Recurso de apoyo	37.50
Subtotal	1259,50
Gastos extras (2%)	37,79
Total	1297,29

Analizando los cuadros de presupuesto de la investigación en la se reflejan los recursos materiales, tecnológicos y de apoyo el valor total asciende a 1297,29 dólares americanos, en el cual existe un 2% de gastos que serán destinados para gastos extras o imprevistos.

### 5.3. Cronograma.



## CONCLUSIONES

Al finalizar el trabajo de investigación se concluye que:

- Un análisis primordial de la investigación fue comparar el comportamiento de los parámetros característicos del motor CFZ vehículo Volkswagen Gol al utilizar diferentes tipos de bujías y bobinas de encendido.
- Como parte de la teoría, se investigó información en artículos científicos, manuales técnicos, libros físicos y en línea que ayudaron al proyecto salir a adelante.
- De acuerdo a los manuales técnicos de información de bujías y bobinas de encendido, se obtuvo información acerca de las mismas además cuales eran las adecuadas para el correcto funcionamiento de motor.
- En el desarrollo de los ensayos dinamométricos, se efectuó combinaciones de bujías de diferentes materiales, número de electrodos, grado térmico y bobinas de encendido de diferente potencial energético.
- El primer ensayo dinamométrico se efectuó con una bujía Bosch FLR7HTC y bobina Bosch elementos de fábrica que poseía el vehículo, obteniendo así una potencia de 87 HP, par motor 12,48 Kgm, consumo de combustible 12,61 lt/h y un tiempo de duración de chispa o tiempo de quemado 1,68 ms.
- Al realizarse las combinaciones de bujías y bobinas de encendido, se realizaron varios ensayos dinamométricos en total 14.

- Se tabuló los datos obtenidos de los diferentes ensayos que se realizaron en el dinamómetro de rodillos.
- Con el uso de la bujía FR8DP material central de platino con grado térmico 8 y bobina Bosch se obtuvo una potencia de 101 HP, par motor de 12,98 kgm, consumo de combustible 12,56 lt/h y tiempo de quemado de 1,58 ms.
- El incremento de potencia fue 13,46 %, par motor de 4,01 %, además de una disminución del consumo de combustible en 0,39 % con el uso de la bujía de platino y la bobina Bosch.
- Con el uso de las bujías de platino la eficiencia térmica del motor es de 25% mejorando así sus parámetros termodinámicos.
- Utilizando una bobina alterna se producen tiempos de quemados menores comparados con la bobina original del automóvil.
- El análisis de gases de las combinaciones de bujías y bobinas se produjo una variación mínima de gases no combustionados en relación a los parámetros originales.

## RECOMENDACIONES

Concluida la investigación se recomienda lo siguiente:

- Incentivar la investigación acerca del funcionamiento de las bujías y bobinas de encendido y de como están afectan al rendimiento del motor.
- Planear una calibración previa del dinamómetro de rodillos y del software a ser utilizados en los ensayos con el objetivo de tener credibilidad en los resultados obtenidos.
- Elaborar nuevas investigaciones en el área de Autotrónica en especial los sistemas de inyección electrónica ya que es fundamental el conocimiento al momento de diagnosticar fallas en el automóvil.
- Propagar el presente proyecto de investigación en las bases digitales de modo que se dé a conocer la optimización de los parámetros característicos de los motores usando diversos tipos de bujías y bobinas de encendido.
- Difundir la existencia de diferentes equipos electrónicos que sirven para el diagnóstico de DTCs además de las señales características de sensores y actuadores mediante el uso de un computador personal.
- Comparar las bujías que son fabricadas con materiales especiales con las comunes que son de cobre afectando al rendimiento del motor de combustión interna.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Rehim, A. (2012). Impact of spark plug number of ground electrodes, engine stability. *Ain Shams Engineering Journal*, 4, 307-316.
- Álvarez, Agramunt, I., & Farrús, S. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Bauer, H., & Ortmann, R. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina: reducción de sustancias nocivas y depuración de gases de escape*. Plochingen: Robert Bosch.
- Bello, M. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid: Paraninfo.
- Binjuwair, S., & Alkudsi, A. (2015). The effects of varying spark timing on the performance and emission characteristics of a gasoline engine: A study on Saudi Arabian RON91 and RON95. *Fuel*, 180, 558-564.
- BOSCH. (2015). Bujías y cables de encendido.
- Bosch, R. (2002). *Gestión del motor de gasolina. Fundamentos y componentes*. Barcelona: Reverté.
- Calleja, D. (2015). *Motores Térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo.
- Casado, E. (2009). *Técnicas básicas de mecánica y electricidad*. Madrid: Paraninfo.
- Crouse, W. (1990). *Mecánica del automóvil*. Barcelona: Marcombo.
- Denso. (2013, Octubre). Catálogo para bujías.
- Denton, T. (2016). *Advanced Automotive Fault Diagnosis: Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair*. New York: Taylor and Francis.
- Erazo, E. (2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñón en el motor Izusu serie DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel en proporción para reducir la polución*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Federal Mogul BERU. (2013). Todo sobre bujías de encendido.
- Genta, G., Morello, L., Cavanillo, F., & Filtri, L. (2014). *The motor car*. Dordrecht: Springer.

- Goms, G. (2012, Enero 27). *Diagnostic Solutions: Ignition Coil*. Retrieved from Underhood Service: <http://www.underhoodservice.com/diagnostic-solutions-ignition-coil-diagnostics/>: [Recuperado el 16/10/2016]
- Gutierrez, M. (2012). *Mantenimiento de motores: dos y cuatro tiempos*. Málaga: IC Editorial.
- Hollembek, B. (2005). *Classroom manual for automotive fuels and emissions*. New York: Thomson/Delmar Learning.
- Kaleli, A., Akif, M., & Erenturk, K. (2014). Controlling spark timing for consecutive cycles to reduce the cyclic variations of SI engines. *Applied Thermal Engineering*, 87, 624-632.
- Mariani, A., & Foucher, F. (2014). Radio frequency spark plug: An ignition system for modern internal combustion engines. *Applied Energy*, 122, 122-151.
- Melchor, M. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. Málaga: IC Editorial.
- Morán, M., Shapiro, H., Turégano, & Velasco, C. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona: Reverté.
- Motorroll. (2016). Banco de rodillos: Manual de usuario.
- NGK. (2013). Manual Técnico.
- Pardiñas, J. (2012). *Comprobación de los sistemas de encendido (Sistemas auxiliares del motor)*. Madrid: Editex.
- Pérez, J. (2014). *Sistemas auxiliares del motor: Transporte y mantenimiento de vehículos*. Madrid: Paraninfo.
- Poggiani, C., Battistoni, M., Grimaldi, C., & Magherini, A. (2015). Experimental Characterization of a Multiple Spark Ignition System. *Energy Procedia*, 82, 89-95.
- Portillo, A. (2012, Octubre 17). *Waveform diagnostics: Ignition diagnostics*. Retrieved from Auto Service Professional: <http://www.autoserviceprofessional.com/article/92689/Waveform-diagnostics-Ignition-diagnostics-you-will-actually-use?Page=6>: [Recuperado el 19/10/2016]
- Reif, K. (2015). *Gasoline engine management: systems and components*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Rolle, K. (2006). *Termodinámica*. Naucalpan de Juárez: Pearson.

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

Stone, R. (1999). *Introduction to internal combustion engines*. Basingstoke: Macmillan.

Volkswagen. (2010). Ficha técnica.

# 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 realizado por los señores: **JAIME ANDRÉS RODRÍGUEZ MENDOZA** y **VINICIO GONZALO TENORIO SANGUCHO**.

En la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de febrero del 2017.

**Aprobado por:**



Ing. Germán Erazo  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**



Ing. Danilo Zambrano  
**DIRECTOR DE CARRERA**



Dr. Carlos Díaz  
**SECRETARIO ACADEMICO**