



**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: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE  
CONTROL ELECTRÓNICO DEL ENCENDIDO E INYECCIÓN  
DE COMBUSTIBLE PARA INVESTIGAR LA INCIDENCIA EN  
LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DEL MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO.”**

**AUTORES: RENÉ FERNANDO LÓPEZ BARBERÁN  
JONATHAN SAMUEL LOZADA PILCO**

**DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO**

**LATACUNGA**

**2017**

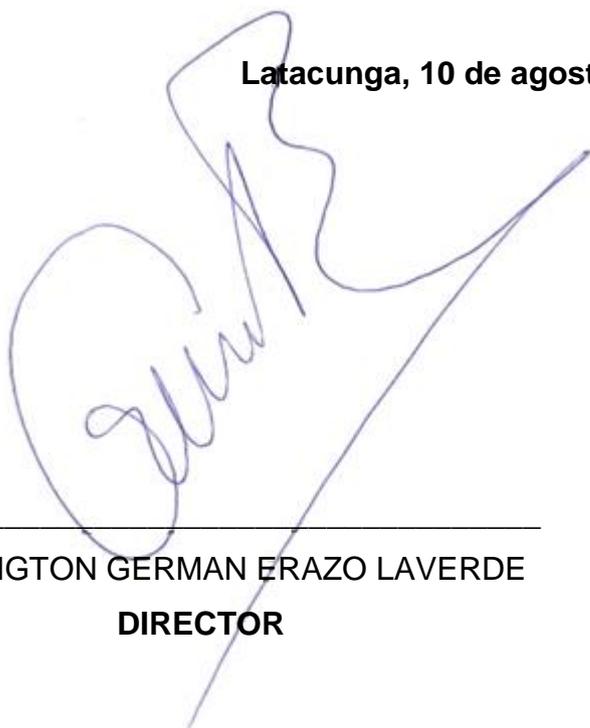


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL ENCENDIDO E INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INVESTIGAR LA INCIDENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO**” realizado por los señores **RENE FERNANDO LÓPEZ BARBERÁN y JONATHAN SAMUEL LOZADA PILCO**, 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 Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **RENE FERNANDO LÓPEZ BARBERÁN y JONATHAN SAMUEL LOZADA PILCO** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 10 de agosto del 2017**



---

**WASHINGTON GERMAN ERAZO LAVERDE**  
**DIRECTOR**



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **RENE FERNANDO LÓPEZ BARBERÁN**, con cédula de ciudadanía N° 1311569345, y **JONATHAN SAMUEL LOZADA PILCO**, con cedula de ciudadanía N° 1804317087, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL ENCENDIDO E INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INVESTIGAR LA INCIDENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

**Latacunga, 10 de agosto del 2017**

René Fernando López Barberán

C.C.: 1311569345

Jonathan Samuel Lozada Pilco

C.C.: 1804317087



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

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **RENE FERNANDO LÓPEZ BARBERÁN** y **JONATHAN SAMUEL LOZADA PILCO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL ENCENDIDO E INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INVESTIGAR LA INCIDENCIA EN LOS PARÁMETROS MECÁNICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 10 de agosto del 2017**

---

René Fernando López Barberán

C.C.: 1311569345

---

Jonathan Samuel Lozada Pilco

C.C.: 1804317087

## **DEDICATORIA**

A mis padres, René López y Silvia Barberán, que han sido mis amigos, mis compañeros y mi apoyo incondicional a lo largo de este proceso y de toda mi vida.

A mis hermanas Silvia López y Salomé López que de una u otra forma siempre me han acompañado y brindado su cariño, dándome más que ánimos en los momentos más difíciles.

Y a mi sobrina Gishelle Soberón, que en su tierna edad supo con sus ocurrencias e inocencia sacarme una sonrisa y alegrarme en los días más duros y complicados.

A todos ellos dedico con mucho cariño y afecto el presente trabajo y más allá de eso les dedico todos los días de mi vida.

**René Fernando López Barberán**

## DEDICATORIA

A mis amados padres Marlene Pilco y César Lozada, por su apoyo incondicional desde el primer día de mi vida, por guiarme, enseñarme y aconsejarme.

A mi amado hermano Aarón Lozada, para que no mire mis errores sino mire mis logros, aciertos, virtudes y sea mucho mejor que yo.

A mis queridas abuelitas Blanca y Georgina, por consentirme y no dejarme caer cuando me daba por vencido, por demostrarme que pase lo que pase ellas nunca me dejarán de amar.

A mi amada Tía Narcisa, por ser como mi segunda madre por su apoyo incondicional desde pequeño, por su preocupación por mí, por quererme como a uno más de sus hijos.

A mis queridos Tíos William y Ninfa, por ser mi apoyo cuando más los necesitaba, porque siempre están ahí para brindarme su ayuda.

A mi querida hermana Elsitita, que intercede por mí desde el cielo.

A ti mi amor por que sacrificamos mucho por este logro.

**Jonathan Samuel Lozada Pilco**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme permitido ingresar en la carrera que tanto soñé y por finalmente, después tantos años de luchas y tropiezos, otorgarme la alegría de poder culminarla.

También le agradezco a Él por haberme bendecido con la familia tan maravillosa que poseo puesto que sin ella nada de lo que soy y poseo en este momento habría sido posible.

Agradezco a mis padres por siempre apoyarme y ayudarme en todo cuanto estuvo dentro de sus posibilidades, yendo en muchas ocasiones más allá de su deber para con los hijos.

A mis hermanas y mi sobrina por acompañarme y darme alegrías y cariño, sobre todo en los momentos más oscuros y complicados de mi existencia.

Y finalmente a mis amigos y compañeros, que de una u otra forma han contribuido a que pueda alcanzar mis metas y me han formado en la persona que soy ahora.

**René Fernando López Barberán**

## **AGRADECIMIENTO**

Infinitas gracias a Dios, por haberme dado la vida, por darme salud, sabiduría y fuerzas para poder cumplir mis metas, por mis padres y hermano que son mi luz en esta vida.

A mi madre, por ser mi apoyo incondicional y no permitir que me rinda nunca, por guiarme desde pequeño en mis deberes, obligaciones y tareas, por su infinito amor y cuidados,

A mi padre, por ser mi ejemplo a seguir, por enseñarme que a pesar de las limitaciones hay que ser el mejor, que nunca hay que rendirse, que hay que entregar hasta el último esfuerzo por lo que se quiere, por mostrarme su amor incondicional y verdadero.

A mi Mamita Blanca, por demostrarme su amor incondicional y su apoyo a pesar de sus limitaciones.

A mi Tía Narcisa, por apoyarme siempre y quererme como aun hijo más, y a pesar de todos los problemas nunca dejar de creer en mí, por su preocupación por mí.

A Germán Mármol, porque sin él no pudiera haber llegado hasta este punto y nunca haber dejado de creer en mis capacidades.

A mi amigo Rogelio Cervantes, por brindar su ayuda cuando parecía ya no existir una salida.

A mis amigos por su amistad, apoyo, compañía y locuras, ayudaron a ser más llevadero esta etapa de la vida.

Al Ing. Germán Erazo, por ser una guía en el desarrollo de este proyecto, brindando sus conocimientos, experiencia y paciencia durante toda mi formación como profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, por abrir sus puertas y permitirme culminar con mis estudios, a cada uno de los docentes que aportaron con sus conocimientos y experiencia para mi formación.

**Jonathan Samuel Lozada Pilco**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxvi
RESUMEN .....	xxvii
ABSTRACT .....	xxviii

## CAPÍTULO I

1. METODOLOGÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	3
1.4. Justificación e importancia.....	4
1.5. Objetivo general .....	5
1.6. Objetivos específicos.....	5
1.7. Metas.....	6
1.8. Hipótesis.....	6
1.9. Variables de investigación.....	7
1.9.1. Variable independiente .....	7
1.9.2. Variable dependiente .....	7
1.10. Metodología de la investigación.....	8

**CAPÍTULO II**

<b>2. MARCO TEÓRICO: INTRODUCCIÓN A LA INYECCIÓN .....</b>	<b>13</b>
2.1. Ciclo Otto.....	13
2.2. Ciclo Otto de cuatro tiempos .....	16
2.3. Trabajo indicado.....	19
2.3.1. Trabajo al freno.....	19
2.4. Presión media efectiva .....	20
2.5. Torque .....	21
2.6. Potencia .....	22
2.7. Eficiencia térmica .....	22
2.8. Eficiencia Volumétrica .....	24
2.9. Eficiencia efectiva e indicada .....	25
2.10. Eficiencia mecánica .....	26
2.11. Consumo de combustible .....	27
2.12. Sistema de inyección electrónica .....	28
2.12.1. Funcionamiento .....	28
2.12.2. Componentes.....	29
2.13. Sistema de inyección por Alfa-N.....	32
2.14. Sistema de inyección por Velocidad-Densidad.....	33
2.14.1. Ciclo de trabajo .....	33
2.14.2. Masa de aire de admisión .....	34
2.14.3. Relación aire-combustible.....	34
2.14.4. Densidad del aire .....	35
2.14.5. Ancho de pulso real .....	36
2.15. Sistema de encendido .....	38
2.16. Componentes del sistema de encendido.....	39

2.16.1. Generador de voltaje .....	39
2.16.2. Pulser.....	39
2.16.3. Bobina de encendido .....	40
2.16.4. Bujía.....	40
2.16.5. Módulo del CDI .....	41
2.17. Funcionamiento del CDI .....	41
2.18. Energía del capacitor.....	43
2.19. Tiempo de carga y descarga de un capacitor .....	43
2.20. Avance al encendido .....	45
2.20.1. Funcionamiento .....	46
2.21. Módulo de control electrónico.....	48
2.22. Acondicionamiento de señales .....	49

### **CAPÍTULO III**

<b>3. DISEÑO DEL MÓDULO DE INYECCIÓN Y AVANCE AL ENCENDIDO .....</b>	<b>51</b>
3.1. Introducción a la Propuesta.....	51
3.2. Parámetros de diseño .....	52
3.3. Diseño del módulo de control .....	53
3.3.1. Selección del microcontrolador.....	53
3.3.2. Fuente de alimentación.....	57
3.3.3. Acondicionamiento de señales .....	58
3.4. Etapa de potencia .....	62
3.4.1. Driver del inyector .....	62
3.4.2. Driver de la bobina de encendido – CDI .....	65
3.5. Diseño del algoritmo de programación .....	72

3.5.1. Control de inyección por velocidad-densidad .....	73
3.5.2. Control de inyección por Alfa-N .....	76
3.5.3. Enriquecimientos .....	79
3.5.4. Corte de inyección .....	80
3.5.5. Selección del sistema de inyección .....	81
3.5.6. Cálculo del ángulo de disparo de la bobina de encendido.....	85
3.5.7. Diagrama de flujo del algoritmo general de control.....	88
3.6. Placa de circuitos .....	89
3.7. Protocolos de pruebas.....	96
3.7.1. Protocolos de prueba en dinamómetro .....	97
3.7.2. Protocolo de análisis de gases .....	97
3.7.3. Protocolo de pruebas de consumo de combustible .....	99
3.7.4. Protocolo de toma de señales .....	100

## **CAPÍTULO IV**

<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>102</b>
4.1. Equipos .....	102
4.1.1. Motocicleta UM DSR 200.....	102
4.1.2. Dinamómetro .....	103
4.1.3. Analizador de Gases CARTEK modelo 50-100 .....	107
4.1.4. Osciloscopio .....	111
4.2. Señales características del módulo de control electrónico de inyección y encendido.....	112
4.3. Análisis de resultados de torque y potencia .....	115
4.3.1. Prueba en condiciones normales de funcionamiento .....	115
4.3.2. Prueba con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado.....	118

4.3.3.	Comparación de gráficos torque y potencia.....	120
4.4.	Análisis de resultados de consumo de combustible .....	121
4.4.1.	Prueba consumo de combustible en condiciones normales .....	122
4.4.2.	Prueba consumo de combustible con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado .....	123
4.4.3.	Comparación del consumo de combustible .....	123
4.5.	Análisis de resultados prueba de gases de escape .....	124
4.5.1.	Prueba de análisis de gases en condiciones normales. ....	125
4.5.2.	Prueba de análisis de gases con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado .....	125
4.5.3.	Comparación de análisis de gases de escape en ralentí. ....	126
4.6.	Análisis comportamiento chispa de la bujía. ....	129
4.6.1.	Chispa de bujía con el sistema CDI original de la motocicleta. ....	129
4.6.2.	Chispa de bujía con el sistema de encendido modificado del módulo de control de inyección electrónica. ....	130
4.6.3.	Comparación de datos obtenidos de la chispa de la bujía, con el CDI original y el módulo de encendido electrónico.....	131

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>MARCO ADMINISTRATIVO.....</b>	<b>135</b>
5.1.	Recursos .....	135
5.1.1.	Recursos humanos .....	135
5.1.2.	Recursos físicos .....	135
5.1.3.	Recursos financieros .....	136
5.1.4.	Recursos materiales .....	137
5.1.5.	Recursos tecnológicos.....	137
5.2.	Análisis de costo .....	138

5.3. Análisis-costo beneficio .....	138
5.4. Influencia socio-económica .....	139
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>144</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>146</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>152</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operación de la variable independiente.....	7
Tabla 2. Operación de la variable dependiente .....	7
Tabla 3. Metodología para el desarrollo del proyecto .....	10
Tabla 4. Parámetros de operación del módulo. ....	52
Tabla 5. Características del motor. ....	52
Tabla 6. Características del inyector.....	52
Tabla 7. Características de los sensores .....	53
Tabla 8. Número de pines necesarios en el microcontrolador .....	54
Tabla 9. Número de canales ADC necesarios en el microcontrolador.....	54
Tabla 10. Definición de parámetros de selección y establecimiento de pesos de cada uno.....	55
Tabla 11. Ponderación de microcontroladores.....	56
Tabla 12. Características generales del microcontrolador ATMEGA328P...	56
Tabla 13. Características del regulador LM7805 .....	57
Tabla 14. Características del optoacoplador 4N25 .....	60
Tabla 15. Resumen de cálculo para el acondicionador del CKP .....	62
Tabla 16. Características de transistor TIP41C. ....	64
Tabla 17. Características del diodo de conmutación 1N4148 .....	64
Tabla 18. Resumen de cálculos para el driver de inyección. ....	64
Tabla 19. Características del capacitor.....	67
Tabla 20. Características del SCR.....	69
Tabla 21. Características de los diodos. ....	69
Tabla 22. Selección de la bobina de encendido.....	72
Tabla 23. Valores para el cálculo del ancho de pulso.....	73
Tabla 24. Límite de interpolación para las RPM .....	76

Tabla 25. Límite de interpolación para el TPS .....	76
Tabla 26. Condiciones de corte y restitución de inyección. ....	81
Tabla 27. Características de la motocicleta .....	85
Tabla 28. Proceso de elaboración de la placa de circuitos. ....	93
Tabla 29. Ficha técnica motocicleta UM DSR200.....	102
Tabla 30. Ficha técnica dinamómetro DYNO mite 4425 2WD 2EC-D .....	103
Tabla 31. Ficha técnica analizador de gases CARTEK .....	107
Tabla 32. Ficha técnica osciloscopio Hantek DSO-2250 .....	111
Tabla 33. Proceso para obtener las señales del módulo de control electrónico.....	113
Tabla 34. Prueba N°1 torque y potencia en condiciones normales con carburador.....	116
Tabla 35. Prueba N°2 torque y potencia con el sistema de encendido e inyección electrónica.....	118
Tabla 36. Comparación de Torque y potencia. ....	120
Tabla 37. Prueba de consumo de combustible en condiciones normales .	122
Tabla 38. Prueba consumo de combustible con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado .....	123
Tabla 39. Comparación consumo de combustible .....	123
Tabla 40. Prueba N°1 de análisis de gases con carburador .....	125
Tabla 41. Prueba N°2 de análisis de gases con carburador .....	125
Tabla 42. Prueba N°1 de análisis de gases a inyección. ....	126
Tabla 43. Prueba N°2 de análisis de gases a inyección .....	126
Tabla 44. Comparación análisis de gases de escape.....	126
Tabla 45. Datos previos medidos para la obtención de los oscilogramas de bujía .....	129
Tabla 46. Valores obtenidos en el oscilograma del cdi original.....	130

Tabla 47. Valores obtenidos en el oscilograma del módulo de inyección y encendido electrónico. ....	131
Tabla 48. Comparación datos obtenidos chispa de bujía. ....	132
Tabla 49. Recursos humanos .....	135
Tabla 50. Recursos físicos.....	135
Tabla 51. Recursos financieros.....	136
Tabla 52. Recursos materiales .....	137
Tabla 53. Recursos tecnológicos .....	137
Tabla 54. Costos de producción y venta .....	139
Tabla 55. Flujo de caja proyectado .....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol del problema.....	3
Figura 2. Etapas del método científico.....	8
Figura 3. Diagrama Presión - Volumen del ciclo Otto. ....	15
Figura 4. Diagrama Temperatura-Entropía del ciclo Otto. ....	15
Figura 5. Carrera de admisión con su diagrama presión-desplazamiento.	16
Figura 6. Carrera de compresión con su diagrama presión - desplazamiento.....	17
Figura 7. Carrera de trabajo con su diagrama presión-desplazamiento. ...	18
Figura 8. Carrera de escape con su diagrama presión desplazamiento. ...	18
Figura 9. Sistema típico de inyección electrónica en motocicletas. ....	28
Figura 10. Esquema general del proceso de inyección electrónica. ....	29
Figura 11. Tipos de componentes de un sistema de inyección electrónica.	30
Figura 12. ECU de la Yamaha FJR1300.....	31
Figura 13. Inyector de la motocicleta Yamaha FJR1300 .....	32
Figura 14. Generador de voltaje junto con el pulser en la parte superior derecha.....	40
Figura 15. Configuración básica del circuito de un CDI. ....	41
Figura 16. Curvas de carga para tres valores distintos de constante de tiempo. ....	44
Figura 17. Curvas de descarga para tres valores distintos de constante de tiempo. ....	45
Figura 18. Curvas típicas de avance al encendido de módulos de diferentes fabricantes.....	47
Figura 19. Mapa de avance al encendido usando un TPS. ....	48
Figura 20. Diagrama de bloques de la unidad de control electrónico. ....	48

Figura 21. Circuito básico de acondicionamiento de señales usando un optoacoplador. ....	49
Figura 22. Diagrama de la fuente de alimentación para el módulo. ....	58
Figura 23. Esquema de acondicionamiento de señal para CKP. ....	59
Figura 24. Diagrama de conexión del acondicionador de señal para el CKP. ....	59
Figura 25. Oscilograma de salida del acondicionamiento de señal. ....	61
Figura 26. Circuito del driver del inyector. ....	62
Figura 27. Diagrama de conexión del driver de inyección. ....	63
Figura 28. Topología del CDI. ....	65
Figura 29. Diagrama de conexión del CDI. ....	65
Figura 30. Lazo de descarga del capacitor. ....	66
Figura 31. Circuito configurado a 1200rpm. ....	70
Figura 32. Oscilograma simulado para el circuito a 1200rpm. ....	71
Figura 33. Circuito configurado a 10000rpm. ....	71
Figura 34. Oscilograma simulado para el circuito a 10000rpm. ....	72
Figura 35. Algoritmo de control de inyección. ....	74
Figura 36. Circuito general utilizando la estrategia velocidad-densidad. ....	75
Figura 37. Oscilograma de señales de entrada y salida con el sistema velocidad – densidad ....	75
Figura 38. Algoritmo para el sistema Alfa-N ....	77
Figura 39. Circuito general utilizando la estrategia Alfa-N. ....	78
Figura 40. Oscilograma de señales de entrada y salida con el sistema Alfa – N . ....	78
Figura 41. Enriquecimiento por aceleración. ....	80
Figura 42. Enriquecimiento por temperatura. ....	80
Figura 43. Oscilograma del pulso de inyección y encendido a 3432rpm. ....	81

Figura 44. Oscilograma de pulso de inyección a máxima inyección.....	82
Figura 45. Oscilograma de pulso de inyección y señal del MAP. ....	83
Figura 46. Oscilograma de pulso de inyección y encendido para Alfa-N. ....	84
Figura 47. Captura de pantalla del software de adelanto al encendido con los datos ingresados. ....	86
Figura 48. Captura de pantalla de la tabla generada por el software.....	86
Figura 49. Esquema de ángulos respecto a punto muerto superior.....	87
Figura 50. Curva de avance al encendido. ....	87
Figura 51. Algoritmo de control para el encendido.....	88
Figura 52. Diagrama de flujo del algoritmo general de control.....	89
Figura 53. Esquema de circuito completo .....	90
Figura 54. Esquema de conexiones del circuito completo. ....	91
Figura 55. Negativo de la placa de circuito impreso. ....	91
Figura 56. Esquema de pines de la hilera de terminales. ....	92
Figura 57. Diagrama de conexiones del socket. ....	93
Figura 58. Placa impresa, quemada y perforada. ....	96
Figura 59. Placa terminada con los elementos montados. ....	96
Figura 60. Flujograma del protocolo de pruebas en dinamómetro.....	97
Figura 61. Protocolo de análisis de gases según la norma NTE INEN 2 203:2000 .....	98
Figura 62. Protocolo para la prueba de consumo de combustible .....	100
Figura 63. Protocolo de pruebas toma de señales.....	101
Figura 64. Colocación cintas de seguridad para la prueba de Torque y potencia. ....	105
Figura 65. Ventilador para controlar la temperatura del motor.....	105
Figura 66. Seteo de datos de la motocicleta.....	106
Figura 67. Ejecución de la medición de torque y potencia.....	106

Figura 68. Resultados iniciales de la prueba .....	107
Figura 69. Analizador de gases-opacímetro CARTEK.....	108
Figura 70. Selección banco de gases.....	108
Figura 71. Conexión medidor RPM a la batería.....	109
Figura 72. Mediciones iniciales del analizador.....	109
Figura 73. Registro del vehículo en el analizador.....	110
Figura 74. Preinspección del vehículo.....	110
Figura 75. Instrucciones de la prueba de gases.....	111
Figura 76. Prueba N°1 torque y potencia en condiciones normales con carburador.....	117
Figura 77. Prueba N°2 torque y potencia con el sistema de encendido e inyección electrónica.....	119
Figura 78. Comparación de torque y potencia, del sistema encendido e inyección vs sistema por carburador.....	120
Figura 79. Resumen de Torque y Potencia con carburador e inyección....	121
Figura 80. Circuito para la prueba de consumo de combustible .....	122
Figura 81. Resumen estadístico consumo de combustible.....	124
Figura 82. Resumen estadístico de hidrocarburos en partículas por millón.....	127
Figura 83. Resumen estadístico en porcentaje del monóxido de carbono.....	127
Figura 84. Resumen estadístico en porcentaje del dióxido de carbono....	128
Figura 85. Resumen estadístico en porcentaje de oxígeno.....	128
Figura 86. Oscilograma bujía CDI original.....	129
Figura 87. Oscilograma bujía sistema de encendido modificado.....	130
Figura 88. Comparación de oscilogramas de la chispa de bujía.....	131
Figura 89. Resumen estadístico del voltaje máximo de la bujía.....	132

Figura 90. Resumen estadístico del voltaje mínimo de la bujía. ....	132
Figura 91. Resumen estadístico de corriente máxima de la bujía.....	133
Figura 92. Resumen estadístico de corriente mínima de la bujía. ....	133
Figura 93. Resumen estadístico del ángulo de encendido de la bujía. ....	134
Figura 94. Cálculo del VAN y la TIR. ....	140

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Trabajo de 6 a 1 según el gráfico P-V .....	13
Ecuación 2 Temperatura de compresión .....	13
Ecuación 3 Presión de compresión antes del inreso de calor .....	13
Ecuación 4 Trabajo específico de 1 a 2 según el gráfico P-V .....	14
Ecuación 5 Calor ingresado durante la estapa de explosión .....	14
Ecuación 6 Trabajo realizado de 2 a 3 según el gráfico P-V .....	14
Ecuación 7 Temperatura al inicio de la carrera de escape .....	14
Ecuación 8 Presión al inicio de la carrera de escape.....	14
Ecuación 9 Trabajo específico de 3 a 4 según el gráfico P-V .....	14
Ecuación 10 Calor expulsado en la carrera de escape.....	14
Ecuación 11 Trabajo específico de 5 a 6 según el gráfico P-V .....	14
Ecuación 12 Trabajo indicado.....	19
Ecuación 13 Trabajo indicado específico.....	19
Ecuación 14 Trabajo al freno .....	20
Ecuación 15 Presión media efectiva .....	20
Ecuación 16 Presión media efectiva .....	20
Ecuación 17 Presión media efectiva al freno .....	21
Ecuación 18 Presión media efectiva indicada.....	21
Ecuación 19 Torque.....	21
Ecuación 20 Torque en función de la bmep.....	22
Ecuación 21 Potencia .....	22
Ecuación 22 Potencia en función de mep.....	22
Ecuación 23 Eficiencia térmica .....	23
Ecuación 24 Eficiencia térmica .....	23

Ecuación 25 Eficiencia térmica .....	23
Ecuación 26 Eficiencia térmica .....	23
Ecuación 27 Eficiencia térmica .....	24
Ecuación 28 Masa real de mezcla .....	24
Ecuación 29 Masa teórica de mezcla .....	24
Ecuación 30 Eficiencia volumétrica.....	25
Ecuación 31 Eficiencia volumétrica.....	25
Ecuación 32 Flujo de energía almacenada en el combustible .....	26
Ecuación 33 Eficiencia del motor .....	26
Ecuación 34 Eficiencia indicada.....	26
Ecuación 35 Eficiencia efectiva.....	26
Ecuación 36 Eficiencia mecánica.....	26
Ecuación 37 Eficiencia mecánica.....	27
Ecuación 38 Flujo másico de combustible .....	27
Ecuación 39 Flujo másico de combustible .....	27
Ecuación 40 Consumo específico.....	27
Ecuación 41 Consumo indicado.....	27
Ecuación 42 Ciclo de trabajo .....	33
Ecuación 43 Ciclo de trabajo .....	34
Ecuación 44 Masa de aire de admisión .....	34
Ecuación 45 Relación aire combustible .....	34
Ecuación 46 Densidad del aire .....	35
Ecuación 47 Masa de aire de admisión .....	36
Ecuación 48 Masa de combustible .....	36
Ecuación 49 Ciclo de trabajo .....	37
Ecuación 50 Ancho de pulso .....	38

Ecuación 51 Energía almacenada en el capacitor .....	43
Ecuación 52 Constante de tiempo .....	44
Ecuación 53 Tiempo de carga y descarga del capacitor.....	45
Ecuación 54 Resistencia del optoacoplador .....	50

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO A: Normas

ANEXO B: Prueba de torque y potencia

ANEXO C: Medición de análisis de gases con el analizador de gases  
cartek

ANEXO D: Prueba de análisis de gases

## **RESUMEN**

En este trabajo de investigación se analiza la incidencia de los parámetros mecánicos de un motor de combustión interna de 200cc mono cilindro, cuando se instala un sistema de control electrónico de encendido e inyección, el proyecto empezó con el levantamiento de información bibliográfica respalda de libros, revistas, artículos científicos, así como también la compilación técnica de datos reales del sistema de alimentación de combustible y sistema de encendido original de dicho motor. Por medio del levantamiento de requerimientos y dimensionamiento se logró realizar el diseño eléctrico, electrónico y mecánico del sistema de inyección electrónico y encendido, gracias a este diseño se pudo seleccionar los diferentes componentes, necesarios para ensamblar el modulo. Posteriormente se configuro el modulo mediante lenguaje de programación en c, tomando en cuenta el adelanto programable de la chispa, así como también la lectura de los sensores y el tiempo de apertura del inyector. Antes de la instalación de este módulo se realizó una revisión mecánica de la motocicleta para que el modulo funcione correctamente. Se obtuvo las características específicas del motor que expresan gráficamente la potencia, el par motor y el consumo de combustible, tanto con el sistema de encendido e inyección original de la motocicleta y el sistema de encendido e inyección electrónica, permitiendo comparar, analizar el efecto que produce este cambio de sistema en la motocicleta.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **INYECCIÓN ELECTRÓNICA**
- **TIEMPOS DE INYECCIÓN**
- **SISTEMAS DE ENCENDIDO - CDI**
- **OSCILOGRAMAS DE ENCENDIDO**

## **ABSTRACT**

In this paper we analyze the incidence of the mechanical parameters of a 200cc single cylinder internal combustion engine, when installing an electronic ignition and injection control system, the project began with the collection of bibliographic information, backed by books, magazines, Scientific articles, as well as the technical compilation of actual data of the fuel supply system and original ignition system of said engine. By means of the lifting of requirements and sizing, the electrical, electronic and mechanical design of the electronic injection and ignition system was achieved, thanks to this design, it was possible to select the different components needed to assemble the module. Subsequently, the module was configured by programming language in c, taking into account the programmable advance of the spark, as well as the reading of the sensors and the opening time of the injector. Before the installation of this module a mechanical inspection of the motorcycle was carried out so that the module works correctly. Specific characteristics of the engine were obtained that graphically express the power, torque and fuel consumption, both with the original ignition and injection system of the motorcycle and the ignition and electronic injection system, allowing to compare, analyze the effect that Produces this system change in the motorcycle.

### **KEY WORDS**

- **ELECTRONIC INJECTION**
- **INJECTION TIMING**
- **IGNITION SYSTEM - CDI**
- **IGNITION OSCILLOGRAMS**

# CAPÍTULO I

## METODOLOGÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Antecedentes

El bajo desempeño en la carburación e inyección de combustible, también el uso de sistemas obsoletos, provocan que los parámetros característicos del motor de combustión interna sean limitados.

La tecnología utilizada en el sistema de alimentación de combustible para este tipo de motores es obsoleto, debido que la inyección electrónica de combustible a demostrado ser lo mejor para optimizar un motor de combustión interna tanto en desempeño, así como en consumo de combustible.

Además, el uso de sensores y actuadores para el sistema de encendido del motor denota su influencia en la potencia final del motor en este caso la motocicleta.

Como manifiesta Gómez (2005), La primera superbike no solo asombró por su motor de cuatro tiempos, que pronto sería adoptado por las demás marcas japonesas, sino que también hizo gala de un nivel de sofisticación muy superior al de los fabricantes británicos, lo que confirmaba que había comenzado una nueva era.

En el motor de combustión interna, es posible modificar sus parámetros característicos como la potencia, torque y consumo de combustible. Estas innovaciones van desde modificar la parte mecánica mejoras electrónicas, aproximadamente la mayoría de estas variaciones que buscan mejorar todas estas partes básicas, han sido desarrolladas por la iniciativa de ingenieros y técnicos orientados en conseguir mayor potencia posible con un menor consumo de combustible en un régimen normal, utilizando para ello modificaciones en la electrónica de la motocicleta así como también; estructura, materiales, diseño, basándose en la evolución de la tecnología.

La evolución de las motos que van desde un motor de combustión interna de dos tiempos a uno de cuatro tiempos ha provocado que la emisión de gases contaminantes disminuya notablemente, contribuyendo con el medio ambiente.

En el medio legal del Ecuador la norma que regula las emisiones permitidas por las motocicletas, como:

- NTE INEN 2 203:2000, para la determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”.

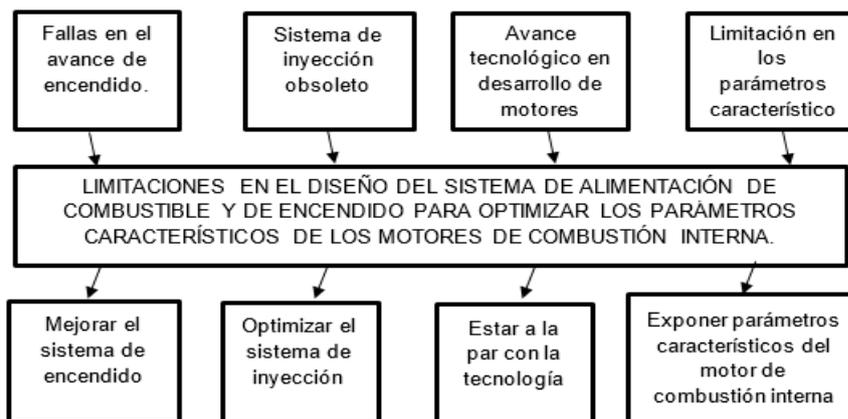
## **1.2. Planteamiento del problema.**

La necesidad de aumentar el torque, la potencia, y disminuir el consumo de combustible, parámetros característicos de los motores de combustión interna.

El problema central es: Los parámetros característicos de los motores de combustión interna son limitados por el sistema de alimentación de combustible y de encendido.

Por lo que el problema a investigar es el siguiente:

Limitaciones en el diseño del sistema de alimentación de combustible y de encendido para optimizar los parámetros característicos de los motores de combustión interna.



**Figura 1. Árbol del problema.**

### 1.3. Descripción resumida del proyecto

En la investigación se analizó la incidencia de los parámetros mecánicos del motor de combustión interna de 200cc mono cilíndrico, cuando se implementa el sistema de control electrónico de encendido e inyección.

El proyecto empezó con el levantamiento de información bibliográfica respaldada en libros, revistas, artículos científicos, seguido por la compilación de información técnica de datos reales del sistema de alimentación de combustible y sistema de encendido original del motor de 200cc.

Se realizó el diseño eléctrico, electrónico del sistema de control de inyección y encendido, a través del levantamiento de requerimientos y dimensionamiento.

Se seleccionó los diferentes componentes, necesarios para el ensamblar el módulo.

Posteriormente se programó el sistema de encendido electrónico con adelanto programable de la chispa, así como también el sistema de inyección electrónica, con el fin de mejorar el rendimiento y consumo de combustible.

Se realizó una revisión técnica mecánica de la motocicleta, para determinar que no existe peligro en el manejo o manipulación de la motocicleta.

Se ejecutó las pruebas de torque y potencia, en el dinamómetro siguiendo las normas establecidas por el fabricante del dinamómetro.

También se efectuó las pruebas de gases contaminantes de acuerdo a la norma NTE INEN 2 203:2000, para la determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralentí".

El resultado se analizó mediante la obtención de curvas características del motor de combustión interna con 200 cc, dichas curvas expresan gráficamente la potencia, el par motor y el consumo específico en función de la velocidad de rotación del cigüeñal para un determinado grado de carga.

Al final de la investigación se expuso los resultados de las modificaciones en el sistema de inyección y encendido, y el análisis de los parámetros característicos del motor de combustión interna en un documento técnico académico.

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

Es necesario realizar un estudio científico que permita justificar y avalar un buen resultado para los cambios que se efectúen sobre el vehículo, el cual sirva a la mejora de la tecnología aplicada en los motores de combustión interna utilizados en motocicletas utilitarias además de colaborar con la economía del consumidor final los cuales son personas que utilizan estos automotores como herramienta de trabajo.

Con base en investigaciones enfocadas en la mejora del diseño del sistema de inyección de combustible y el sistema de encendido se

pretende mejorar los parámetros de los motores de combustión interna y optimizar dichos sistemas para estar a la par con la tecnología actual.

El proyecto permitió obtener datos importantes del consumo de combustible, con y sin las modificaciones electrónicas realizadas en el motor de combustión interna de 200cc mono cilíndrico, permitiendo evaluar el desempeño general del motor, así como velocidad final, y comportamiento de la motocicleta. Con esto se realizó un trabajo de estudio y análisis de las curvas características del motor de combustión de 200cc, las que expresan gráficamente la potencia, el par motor y el consumo específico en función de la velocidad de rotación del cigüeñal para un determinado grado de carga.

La presente investigación permitió incentivar al desarrollo de la matriz productiva del país, permitiendo la fabricación local de un sistema de encendido e inyección electrónica, activando el interés en mejorar los sistemas de una motocicleta, creando kits de conversiones nacionales para reducir los gases contaminantes, además de ahorrar en el consumo de combustible.

### **1.5. Objetivo general**

Investigar la incidencia en los parámetros mecánicos del motor de combustión interna de 200cc mono cilíndrico cuando se implementa un sistema de control electrónico de encendido e inyección.

### **1.6. Objetivos específicos**

- Consultar la información bibliográfica en fuentes confiables necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Realizar el diseño eléctrico, electrónico del sistema de inyección electrónico y de encendido.
- Seleccionar los diferentes componentes para el ensamblaje del módulo.

- Programar el sistema de encendido de alto desempeño con adelanto programable de la chispa, con el fin de mejorar el rendimiento y consumo de combustible del motor.
- Ejecutar las pruebas en dinamómetro, para obtener datos de torque y potencia de la motocicleta con el sistema de combustible original, así como también con el sistema de inyección electrónico.
- Efectuar pruebas de emisiones de gases contaminantes en prueba estática con el analizador de gases, en el Laboratorio de Autotrónica de la institución, bajo referencia de la norma NTE INEN 2 203:2000.
- Analizar los resultados obtenidos de la investigación.
- Realizar un análisis de costos del proyecto.

### **1.7. Metas**

Con la implementación del sistema de alimentación se espera generar un documento de alto nivel académico que sustente las posibles variaciones en el desempeño de la motocicleta UM modelo ENDURO 200 con un motor mono cilíndrico de 200 cc refrigerado por aire al lograr:

- Reducir el consumo de combustible en un 10 – 20%.
- Mantener la potencia de la motocicleta
- Reducir las emisiones de gases contaminantes de escape entre el 10 – 15%.

### **1.8. Hipótesis**

La instalación de un módulo de control electrónico del encendido y la inyección de combustible se estima mejorar las prestaciones mecánicas del motor de 200cc.

## 1.9. Variables de investigación

### 1.9.1. Variable independiente

Módulo de control electrónico del encendido y la inyección de combustible.

**Tabla 1.**  
**Operación de la variable independiente**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un dispositivo que permite variar el ángulo de avance de encendido y la alimentación de combustible.	Académica tecnológica	Corriente de carga	Amperios	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Tiempo de inyección	ms	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Número de chispas	Unidad	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Flujo de masa de aire	Kg/s	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Número de revoluciones del motor	RPM	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Temperatura del motor	C°	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Chispa de encendido	Voltios	Cálculos	Protocolo de pruebas
		Flujo de inyección	m <sup>3</sup> /s	Cálculos	Protocolo de pruebas

### 1.9.2. Variable dependiente

Parámetros mecánicos del motor de combustión de 200cc.

**Tabla 2.**  
**Operación de la variable dependiente**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítems	Técnicas	Instrumentos
Son las características fundamentales para analizar el rendimiento y estado de un motor	Parámetros característicos del motor	Torque	Nm	Cálculos Medición	Protocolo de pruebas
		Potencia	kW	Cálculos Medición	Protocolo de pruebas
		Consumo de combustible	Kg/h	Cálculos Medición	Protocolo de pruebas
	Contaminación	Niveles de Emisiones	ppm HC % CO % CO2 % O2	Medición	Protocolo de pruebas

CONTINÚA



Potencial para producir trabajo y energía	Rendimiento térmico	%	Cálculos	Protocolo de pruebas
	Rendimiento mecánico	%	Cálculos	Protocolo de pruebas
	Rendimiento indicado	%	Cálculos	Protocolo de pruebas
Económico	VAN / TIR	%	Cálculos	Matematización

### 1.10. Metodología de la investigación

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron los siguientes métodos generales y específicos, como:



Figura 2. Etapas del método científico.

#### • Método deductivo

La investigación se enfocó en la implementación del avance al encendido y control de inyección para verificar la incidencia en el desempeño mecánico del motor de combustión interna de 200 cc mono cilíndrico en función de factores ya mencionados anteriormente, el proyecto estará enfocado en el análisis de la potencia, torque y consumo de combustible.

- **Método inductivo**

Este método se utilizó, ya que la investigación se realizó en una motocicleta de marca UM, modelo enduro, con sistema de alimentación de combustible a carburador, por lo que los resultados obtenidos se pueden aplicar para todas las motocicletas que cuenten con el mismo tipo de sistema de alimentación de combustible.

- **Método analítico**

En la presente investigación se aplicó este método debido a que se dividió el estudio del sistema de admisión; por un lado, está todo lo referente al ingreso de aire y por otro lado se encuentra la alimentación de combustible los cuales fueron ser analizados y relacionados a las diferentes condiciones que se generó en la parte experimental.

- **Método de síntesis**

Este método se aplicó en la realización del documento técnico especializado donde converjan los resultados de las pruebas realizadas por el método experimental bajo condiciones específicas. El documento resultante, el cual fue el resultado de las pruebas y mediciones realizadas, mostró la información de manera ordenada, sintetizada, permitiendo una fácil asimilación e interpretación de la misma.

- **Método experimental**

La metodología que se utilizó fue la experimental debido a que se trabajó mediante mediciones y pruebas de laboratorio bajo condiciones controladas de funcionamiento, que permitió el análisis de la variación de los parámetros de torque y potencia, velocidad de la motocicleta y la carga a la que está sometida.

- **Método comparativo**

En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros analizados basándose en datos, mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento de la motocicleta y pruebas de ruta realizadas en la ciudad de Quito con la finalidad de obtener valores comparativos del consumo de combustible.

- **Método de observación directa**

Este método permitió realizar una verificación visual de las variaciones que esta investigación puede establecer, principalmente en el consumo de combustible y las emisiones de los gases de escape.

- **Método medición**

Con este método se realizó las pruebas para el desarrollo de la investigación en base a los protocolos de pruebas, se determinó los estándares, tomando en cuenta las escalas de los instrumentos utilizados.

- **Método matematización**

Con los resultados obtenidos de la investigación mediante números, se realizó la generalización del aspecto cuantitativo de los fenómenos analizados, en el cual se consideró las variaciones de tiempo de inyección y encendido para las diferentes condiciones establecidas en las pruebas.

**Tabla 3.**  
**Metodología para el desarrollo del proyecto**

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se utilizó este método, ya que la investigación partió del hecho que al modificar los componentes del	Motocicleta Um 200	Laboratorio de Autotrónica

CONTINÚA



	<p>sistema de admisión más la adaptación de un sistema de inyección de combustible en el motor de 200 cc mono cilíndrico, refrigerado por aire el cual está montado en una motocicleta de serie modelo enduro ensamblada en Ecuador, lograra mejorar las prestaciones de dicho motor y por ende a la de la motocicleta.</p>	<p>Motor 200 cc mono cilíndrico refrigerado por aire.</p>	
Deductivo	<p>Partiendo de que la investigación se enfoca en la mejora de las prestaciones (torque, potencia y consumo específico) del motor con 200cc, mono cilíndrico y refrigerada por aire, al diseñar e implementar un sistema de ingreso de aire y control de inyección de combustible se analizará los valores obtenidos de dichos parámetros que se generan bajo la modificaciones mencionadas anteriormente.</p>	<p>Dinamómetro de rodillos DYNO mite 4425 2WD 2EC-D</p> <p>Analizador de Gases CARTEK 50-100</p> <p>Osciloscopio OTC</p>	<p>Empresa de potenciación y mantenimiento automotriz “Alvaro Dinamyca competición”.</p> <p>Laboratorio de Autotrónica</p> <p>Laboratorio de Autotrónica</p>
Analítico	<p>Puesto que la investigación se enfocó en la implementación del sistema de aire y control de inyección para verificar la incidencia en el desempeño mecánico del motor de combustión interna de 200 cc mono cilíndrico y refrigerada por aire, este método se aplicó ya que permite analizar de forma individual cada uno de los parámetros característicos (torque, potencia y consumo específico – volumétrico).</p>	<p>Dinamómetro de rodillos DYNO mite 4425 2WD 2EC-D</p> <p>Analizador de Gases CARTEK 50-100</p> <p>Computador personal</p>	<p>Empresa de potenciación y mantenimiento automotriz “Alvaro Dinamyca competición”.</p> <p>Laboratorio de Autotrónica</p>
Experimental	<p>Se utilizó este método puesto que se realizó mediciones y pruebas con la ayuda del dinamómetro de rodillos y analizador de gases, que proporcionaran los valores de los parámetros característicos del motor con el sistema de admisión y alimentación de combustible original y posterior con el sistema ya modificado. Para esto se levantó protocolos donde se detalló cada proceso que se realizó para obtener dichos parámetros.</p>	<p>Analizador de Gases CARTEK 50-100</p> <p>Osciloscopio</p> <p>Dinamómetro de rodillos DYNO mite 4425 2WD 2EC-D</p>	<p>Laboratorio de Autotrónica</p> <p>Empresa de potenciación y mantenimiento automotriz “Alvaro Dinamyca competición”.</p>
Comparativo	<p>En esta investigación el método comparativo permitió establecer variaciones de los parámetros analizados basándose en las mediciones realizadas en condiciones normales de funcionamiento de la motocicleta y pruebas de ruta realizadas en la ciudad de Quito con la finalidad de</p>	<p>Computador personal</p> <p>Software Microsoft Office</p>	



---

	obtener valores comparativos del consumo de combustible.		
		Analizador de Gases CARTEK 50-100	Laboratorio de Autotrónica
		Osciloscopio	
Medición	A través del método de medición se estableció el protocolo de pruebas, se determinó las unidades en las que se manejarán los datos, tomando en cuenta las escalas de los equipos con los que se realizan las pruebas.	Dinamómetro de rodillos DYNO mite 4425 2WD 2EC-D	Empresa de potenciación y mantenimiento automotriz "Alvaro Dinamyca competición".
		Computador personal	
		Software Microsoft Office	
Matematización	Una vez representados los resultados de la investigación mediante números, se utilizó este método para justificar los diferentes tipos de rendimiento.	Computador personal	
		Software Microsoft Office	

---

## CAPÍTULO II

### INTRODUCCIÓN A LA INYECCIÓN

#### 2.1. Ciclo Otto

(Payri & Desantes, 2013) Un ciclo termodinámico es aquel en el que un fluido experimenta una sucesión de procesos que termina al volver a su estado inicial y que además se mantienen uniformes las variables termodinámicas dentro del volumen de control, lo que significa que se conserva el equilibrio térmico.

Según (Stone & Ball, 2004), en caso del ciclo Otto, el mismo se divide en seis procesos termodinámicos, siendo dos de ellos adiabáticos o sin transferencia de calor, lo que significa que son isentrópicos o de entropía constante.

(Pulkrabek, 1997) Dichos procesos, regidos a los diagramas de presión-volumen y temperatura-entropía del ciclo Otto de aire estándar, junto a sus ecuaciones gobernantes son los descritos a continuación:

- Ingreso isobárico de aire

$$W_{6-1} = P_0(V_1 - V_6) \quad \text{Ecuación 1}$$

- Compresión isentrópica

$$T_2 = T_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^k \quad \text{Ecuación 3}$$

$$w_{1-2} = c_v(T_1 - T_2)$$

Ecuación 4

- Adición de calor isocórica

$$q_{2-3} = C_v(T_3 - T_2)$$

Ecuación 5

$$w_{2-3} = 0$$

Ecuación 6

- Expansión isentrópica

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

Ecuación 7

$$P_4 = P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^k$$

Ecuación 8

$$w_{3-4} = C_v(T_3 - T_4)$$

Ecuación 9

- Expulsión de calor isocórica

$$q_{4-5} = C_v(T_4 - T_5)$$

Ecuación 10

- Expulsión isobárica de gases

$$w_{5-6} = c_v(v_6 - v_5)$$

Ecuación 11

Donde:

$W$  Trabajo

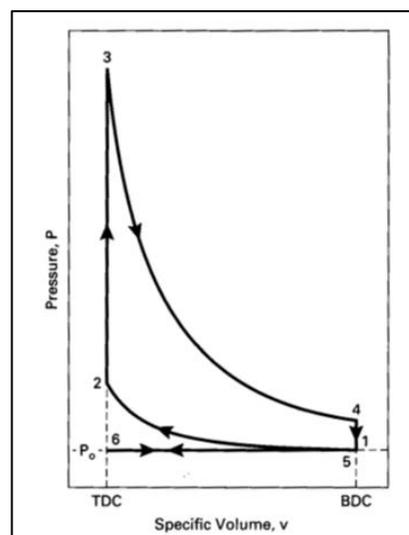
$T$  Temperatura

$P$  Presión

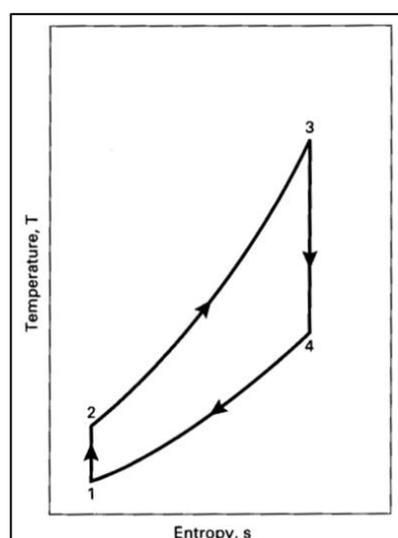
$V$  Volumen

- $v$  Volumen específico
- $k$  Relación de calores específicos,  $k=c_p/c_v$
- $c_v$  Coeficiente de calor específico a volumen constante
- $q$  Calor específico

Los coeficientes de cada ecuación corresponden a cada punto referencial de los diagramas presión-volumen y temperatura-entropía y se ubican en los mismos como se muestra a continuación:



**Figura 3. Diagrama Presión - Volumen del ciclo Otto.**  
Fuente: (Pulkrabek, 1997).



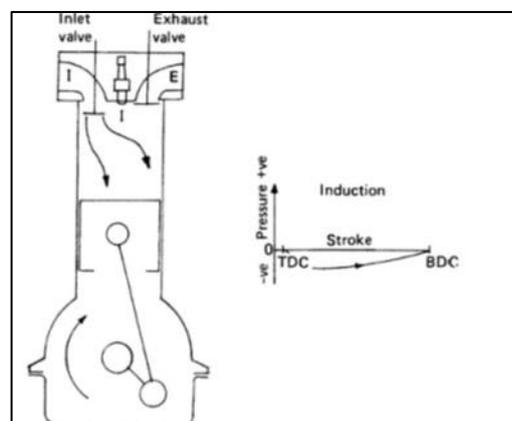
**Figura 4. Diagrama Temperatura-Entropía del ciclo Otto.**  
Fuente: (Pulkrabek, 1997).

## 2.2. Ciclo Otto de cuatro tiempos

Se denomina ciclo de cuatro tiempos debido a que requiere cuatro carreras del pistón para completar un ciclo completo; una carrera descendente para absorber la mezcla aire-combustible desde el cabezote, una carrera ascendente de compresión de los gases, una carrera descendente de trabajo y una carrera ascendente de expulsión de gases.

Los procesos que ocurren en cada carrera pueden describirse de la siguiente manera:

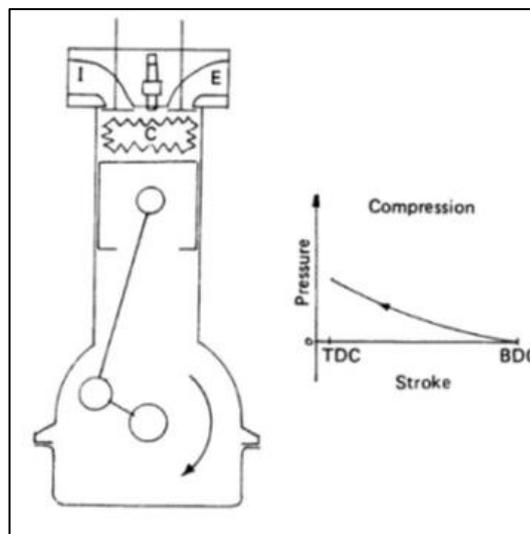
- (Crolla, 2009) En la carrera de admisión, la válvula de admisión se abre y la de escape se cierra, el pistón desciende desde el punto muerto superior creando una baja de presión que variará según la velocidad del mismo, la cual es típicamente de 0.12bar en promedio por debajo de la presión atmosférica, y obliga a la mezcla aire combustible a ingresar al cilindro, razón por la cual los motores con este tipo de alimentación de mezcla reciben el nombre de naturalmente aspirados.
- (Ganesan, 2006) Este proceso representa compresión isentrópica de aire del aire cuando el pistón se mueve del punto muerto inferior al punto muerto superior.



**Figura 5. Carrera de admisión con su diagrama presión-desplazamiento.**

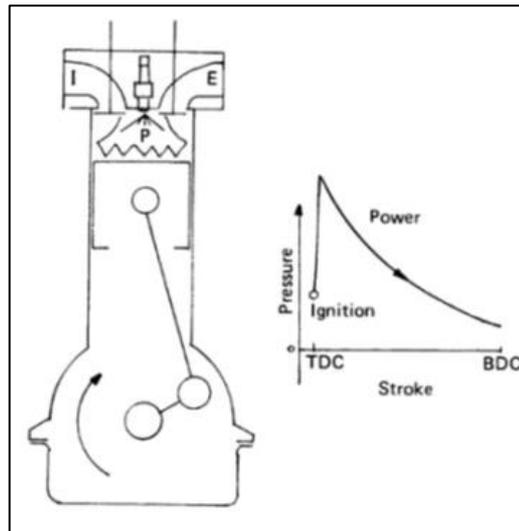
**Fuente: (Crolla, 2009).**

- (Crolla, 2009) En la carrera de compresión, la válvula de admisión se cierra y el pistón sube desde el punto muerto inferior comprimiendo la mezcla de aire-combustible en el orden de un octavo o un décimo del volumen original, incrementando con esto no sólo la temperatura sino la presión, la cual puede alcanzar valores de entre 8 bar y 14 bar.
- (Ganesan, 2006) En este proceso ingresa calor reversiblemente a volumen constante y corresponde al salto de la chispa y combustión de la mezcla en el punto muerto superior.



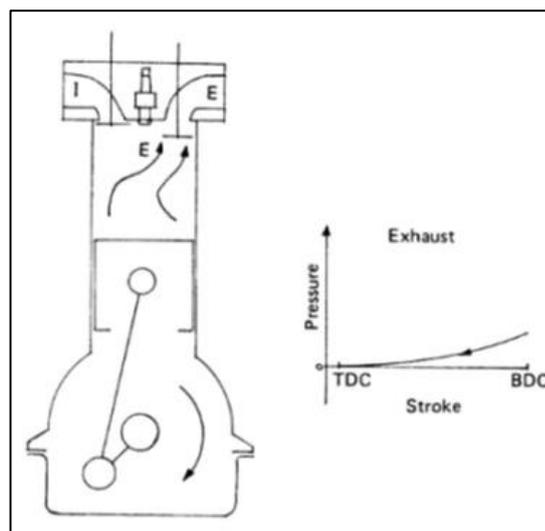
**Figura 6. Carrera de compresión con su diagrama presión-desplazamiento.**  
**Fuente: (Crolla, 2009).**

- (Crolla, 2009) En la carrera de trabajo ambas válvulas continúan cerradas y justo cuando el pistón alcanza el punto muerto superior la chispa salta y se produce la combustión de la mezcla, incrementando rápidamente la temperatura y por lo tanto la presión dentro del cilindro hasta cerca de 60bar, lo que empuja al pistón obligándolo a realizar la carrera descendente estabilizando la presión a 4bar en el punto muerto inferior.



**Figura 7. Carrera de trabajo con su diagrama presión-desplazamiento.**  
**Fuente: (Crolla, 2009).**

- (Crolla, 2009) En la carrera de escape inicia en el punto muerto inferior, se abre la válvula de escape y la mayoría de los gases inician su salida del cilindro debido a la presión existente dentro del cilindro en ese momento, mientras que aquellos restantes son empujados por el movimiento ascendente del pistón, lo que reduce la presión total hasta alcanzar la atmosférica o ligeramente menor al alcanzar el punto muerto superior



**Figura 8. Carrera de escape con su diagrama presión desplazamiento.**  
**Fuente: (Crolla, 2009).**

### 2.3. Trabajo indicado

(Pulkrabek, 1997) El trabajo es el producto útil final que proporciona cualquier motor de combustión y se genera por la presión de los gases dentro de la cámara de combustión que empujan al pistón en carrera descendente; este trabajo es equivalente al área dentro de la curva del diagrama presión-volumen y es llamado trabajo indicado.

Considerando que el desplazamiento instantáneo del pistón multiplicado por el área de la corona del mismo es igual al volumen instantáneo que ingresa al motor, se puede escribir el trabajo de la siguiente manera:

$$W_i = \int P dV \quad \text{Ecuación 12}$$

Al dividir la expresión anterior para la masa de mezcla que ingresa al cilindro se obtiene el trabajo específico:

$$w_i = \int P dv \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$W_i$	Trabajo indicado
$w_i$	Trabajo indicado específico
$P$	Presión de los gases dentro de la cámara de
$dV$	Diferencial de volumen
$dv$	Diferencial de volumen específico

#### 2.3.1. Trabajo al freno

(Pulkrabek, 1997) Debido a la fricción mecánica y cargas parásitas como lo son la bomba de aceite, el compresor del aire acondicionado, el alternador y otras, el trabajo que llega al cigüeñal no es el mismo que el trabajo

indicado, por lo que el trabajo real que se encuentra disponible a la salida del motor recibe el nombre de trabajo al freno.

$$w_b = w_i - w_t \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$w_b$  Trabajo específico al freno

$w_t$  Trabajo específico por pérdidas

#### 2.4. Presión media efectiva

Como es evidente la presión dentro del cilindro se encuentra continuamente cambiando, por lo que es necesaria la introducción del concepto de presión media efectiva pues permite tener un parámetro de comparación entre motores que es independiente del tamaño o velocidad de operación.

La relación para determinar la presión media efectiva es la siguiente:

$$mep = \frac{W}{V_d} \quad \text{Ecuación 15}$$

O en relación al trabajo específico:

$$mep = \frac{w}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 16}$$

Dependiendo también del tipo de trabajo que se utilice en el cálculo, la presión media efectiva recibe distintos nombres, teniendo:

$$bmep = \frac{W_b}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$imep = \frac{W_i}{\Delta v} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

<i>mep</i>	Presión media efectiva
<i>bmep</i>	Presión media efectiva al freno
<i>imep</i>	Presión media efectiva indicada
<i>W</i>	Trabajo durante un ciclo
<i>w</i>	Trabajo indicado durante un ciclo
<i>V<sub>d</sub></i>	Desplazamiento volumétrico del cilindro
$\Delta v$	Variación de volúmenes específicos ( $V_{pms}-V_{pmi}$ )

## 2.5. Torque

(Crolla, 2009) Torque es el esfuerzo de giro que experimenta el cigüeñal, y por consiguiente la polea de éste, respecto a su propio eje y es igual al producto de la fuerza que actúa a lo largo de la biela y la distancia perpendicular entre la fuerza y el centro del eje de rotación.

(Pulkrabek, 1997) El torque es un buen indicador de la habilidad del motor para realizar trabajo y se relaciona con éste de la siguiente forma:

$$\tau = \frac{W_b}{2\pi} \quad \text{Ecuación 19}$$

O en relación con la presión media efectiva:

$$\tau = \frac{bmep * V_d}{4\pi} \quad \text{Ecuación 20}$$

## 2.6. Potencia

(Crolla, 2009) Potencia es la rapidez a la que puede ser realizado el trabajo, por lo que su valor variará en función del ritmo de giro del cigüeñal, incrementándose con el aumento de trabajo ejecutado hasta aproximadamente dos tercios del rango de rpm disponibles para el motor, momento en el cual empezará a disminuir debido a las velocidades son tan altas que interfieren con el ingreso de carga de mezcla fresca y salida de gases residuales lo que produce una disminución en la presión media efectiva.

La potencia se relaciona con el torque de la siguiente manera:

$$P = 2 * \pi * N * \tau \quad \text{Ecuación 21}$$

O en relación a la presión media efectiva:

$$P = \frac{mep * A_p * c_p}{4} \quad \text{Ecuación 22}$$

El uso de la presión media efectiva resulta en la derivación de potencias distintas según el tipo de presión media efectiva utilizada teniendo así potencia indicada o potencia al freno según sea el caso.

## 2.7. Eficiencia térmica

(Crolla, 2009) La eficiencia térmica es la relación entre trabajo útil que produce el motor y la cantidad de energía que le es suministrada, que para los motores a gasolina con ciclo Otto está entre el 20% y el 30%,

siendo estos valores considerablemente influenciados por la relación de compresión que posea.

De la definición de eficiencia térmica se tiene que:

$$\eta_t = \frac{W_{net}}{q_{in}} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

$\eta_t$	Eficiencia térmica
$W_{net}$	Trabajo neto
$q_{in}$	Calor ingresado

O lo que es lo mismo:

$$\eta_t = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$q_{ex}$	Calor expulsado
----------	-----------------

Teniendo que:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Combinando las ecuaciones 5 y 10 con la expresión anterior se obtiene:

$$\eta_t = 1 - \frac{(T_3 - T_2)}{(T_1 - T_4)} \quad \text{Ecuación 26}$$

(Pulkrabek, 1997) La ecuación 15 puede simplificarse aún más si se aplican las relaciones de los gases ideales para los procesos de expansión y compresión isentrópicos y tomando en cuenta que  $v_1=v_4$  y  $v_2=v_3$ .

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} \quad \text{Ecuación 27}$$

## 2.8. Eficiencia Volumétrica

(Basshuysen & Schäfer, 2004) Es la relación entre la carga real de mezcla aire-combustible que ingresa al cilindro y carga teórica que debería ingresar, siendo una medida de la cantidad de carga fresca que permanece en el cilindro una vez que ha finalizado el ciclo de carga y es referida a la densidad teórica de dicha mezcla.

La carga real que ingresa al cilindro es la suma de las masas de aire y combustible que ingresa, como se muestra a continuación:

$$m_r = m_a + m_c \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

$m_r$	Masa real de mezcla
$m_a$	Masa real de aire
$m_c$	Masa real de combustible

Mientras que la carga teórica es la masa que debería ingresar teóricamente al cilindro durante el ciclo de carga, calculado en relación a la densidad teórica de la mezcla.

$$m_t = (V_{cil} + V_{cc}) * \delta_m \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

$m_t$	Masa teórica de mezcla
$V_{cil}$	Volumen del cilindro
$V_{cc}$	Volumen de la cámara de combustión
$\delta_m$	Densidad de la mezcla

De la definición de eficiencia volumétrica se tiene que:

$$\eta_v = \frac{m_r}{m_t} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

$\eta_v$	Eficiencia volumétrica
----------	------------------------

Y al reemplazar las equivalencias para cada una de las masas, tanto teórica como real, la ecuación general para el cálculo de la eficiencia volumétrica quedaría como sigue:

$$\eta_v = \frac{m_a + m_c}{(V_{cil} + V_{cc}) * \delta_m} \quad \text{Ecuación 31}$$

## 2.9. Eficiencia efectiva e indicada

(Basshuysen & Schäfer, 2004) Las eficiencias efectivas e indicadas son esencialmente determinadas por la energía almacenada en el combustible, siendo la energía admisible por unidad de tiempo calculada de la siguiente manera:

$$\dot{E}_c = \dot{m}_c * H_c \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

$\dot{E}_c$	Flujo de energía almacenada en el combustible
$\dot{m}_c$	Flujo de masa de combustible
$H_c$	Capacidad calórica de combustible

Si se considera que la potencia es la salida que se obtiene del motor y la energía del combustible es la entrada al mismo, la eficiencia quedaría de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{P}{\dot{m}_c * H_c} \quad \text{Ecuación 33}$$

Dependiendo del tipo de potencia utilizada en la ecuación, la eficiencia será eficiencia indicada o eficiencia efectiva, como se muestra a continuación:

$$\eta_i = \frac{P_i}{\dot{m}_c * H_c} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_c * H_c} \quad \text{Ecuación 35}$$

## 2.10. Eficiencia mecánica

(Basshuysen & Schäfer, 2004) La eficiencia mecánica se define como la relación entre la eficiencia efectiva y la eficiencia indicada.

$$\eta_m = \frac{\eta_e}{\eta_i} \quad \text{Ecuación 36}$$

Si se reemplaza los valores de las eficiencias efectiva e indicada respectivamente en la ecuación anterior, se tiene que:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad \text{Ecuación 37}$$

### 2.11. Consumo de combustible

(Basshuysen & Schäfer, 2004) El consumo de combustible de un motor se mide como el flujo volumétrico o como el flujo másico de combustible que ingresa a cada uno de los cilindros para ser quemado.

$$\dot{m}_c = \frac{m_c}{t} \quad \text{Ecuación 38}$$

Y en función del flujo volumétrico se tiene que:

$$\dot{m}_c = \delta_c * \dot{V}_c \quad \text{Ecuación 39}$$

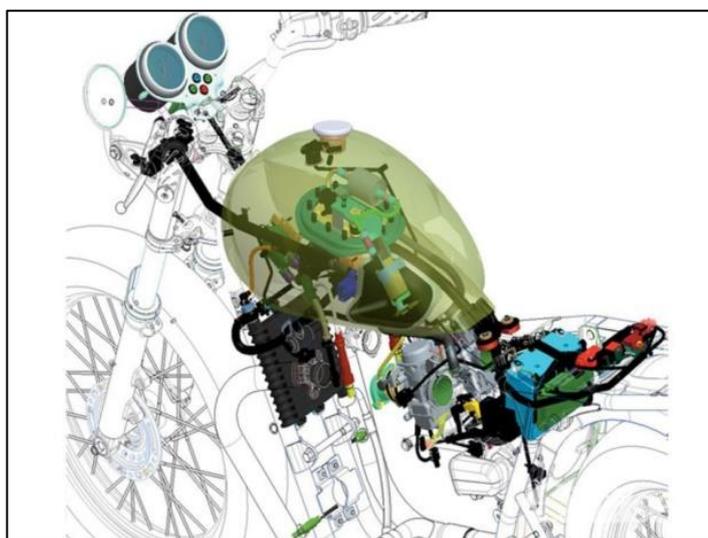
(Basshuysen & Schäfer, 2004) Para tener una mejor manera de comparar el consumo de combustible se puede referir a la potencia efectiva o la potencia indicada para obtener el consumo específico efectivo o el consumo específico indicado respectivamente.

$$b_e = \frac{m_c}{P_e} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$b_i = \frac{m_c}{P_i} \quad \text{Ecuación 41}$$

## 2.12. Sistema de inyección electrónica

(Nakamura, Takahiko, Masashi, Michihisa, & Yuuichirou, 2003) El sistema de inyección electrónica proporciona control preciso de la relación aire-combustible que ingresa al cilindro, lo que lo hace perfecto para alcanzar mejoras en consumo y reducción de emisiones; sin embargo, en el ámbito de las motocicletas de bajo cilindraje se presentan desafíos mayores a los de alta cilindrada por lo que a pesar de ser más eficiente, en este caso, es un sistema más demandante.



**Figura 9. Sistema típico de inyección electrónica en motocicletas.**  
Fuente: (Zimmerman, 2009).

### 2.12.1. Funcionamiento

Para trabajar correctamente, el motor necesita que se lo alimente con la cantidad correcta de combustible, la cual varía de acuerdo con las condiciones de operación a las que se halle sometido el mismo.

(Banish, 2007) La mayoría de motores se encuentran cómodos trabajando con mezcla estequiométrica durante el 95% del tiempo, sin embargo, existen excepciones como el punto de mariposa totalmente abierta o WOT (Wide Open Throttle), donde se requiere una mezcla más rica para obtener un mayor torque.

[ Honda Motor Co. Inc., 2006 ] Para poder ejecutar dicha acción, el motor necesita de una unidad de control electrónico o ECU (Electronic Control Unit), que obtenga información del estado de funcionamiento por medio de las señales envían los distintos sensores que posee y de acuerdo a ello determinar la cantidad necesaria de combustible que necesita inyectar en ese momento y que proporcionará óptima economía y desempeño.

Este proceso de dosificación o pulverización es efectuado por un dispositivo denominado inyector, el cual es gobernado por la misma ECU, la que por medio de impulsos eléctricos que controlan el tiempo de apertura y cierre del mismo.

(Martín, 2012) Además de realizar dicho proceso, el sistema de inyección electrónica controla también el funcionamiento de la bomba de alimentación, el encendido o salto de la chispa, el nivel de ralentí y las luces de advertencia del tablero.



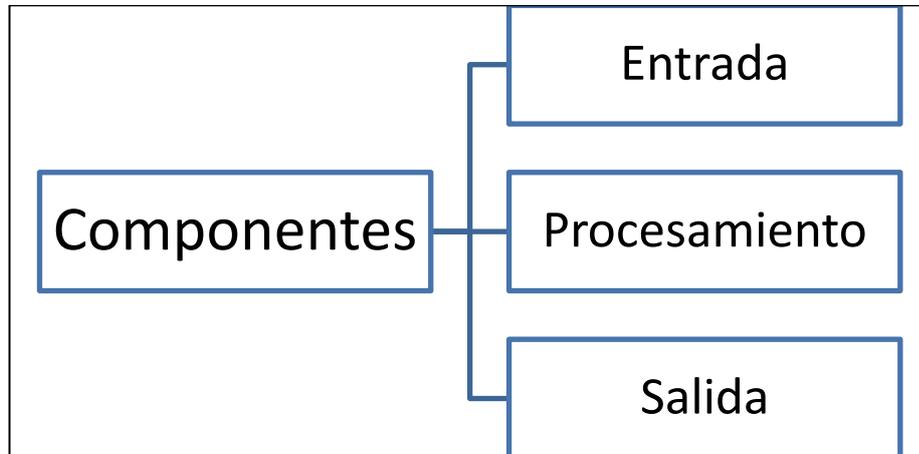
**Figura 10. Esquema general del proceso de inyección electrónica.**

### **2.12.2. Componentes**

(Nakamura, Takahiko, Masashi, Michihisa, & Yuuichirou, 2003) El sistema de inyección electrónica, el cual está destinado para un control altamente preciso de la mezcla aire-combustible consiste de una variedad de sensores, actuadores y una ECU que trabajan en conjunto en base a las condiciones y requerimientos ambientales, del motor y del conductor.

Dependiendo de la precisión y fiabilidad que se requiera del sistema, el mismo puede llegar a ser muy complejo, debido a que la cantidad de componentes que se involucran o se requieren puede llegar a ser elevada;

sin embargo, es posible organizar estos elementos dentro de tres categorías como se muestra a continuación:



**Figura 11. Tipos de componentes de un sistema de inyección electrónica.**

(Rodríguez, 2015) Como se observa en la figura 11, los componentes se distribuyen en tres grupos bien diferenciados; el primer grupo está formado por dispositivos de entrada o alimentación denominados sensores, los cuales son elementos que están en contacto directo con la magnitud física o química que se evalúa, cuya función es captar un señal y enviarla a otra parte del sistema aprovechando las propias cualidades que posee como la resistencia eléctrica que varía con la temperatura y que se usa en los termistores.

Los sensores más comunes dentro de la inyección electrónica son:

- Sensor de posición del cigüeñal (CKP)
- Sensor de posición del árbol de levas (CMP)
- Sensor de posición del estrangulador de aceleración (TPS)
- Sensor de temperatura de refrigerante (ECT)
- Sensor de flujo de aire de admisión (MAF)
- Sensor de presión de aire de admisión (MAP)
- Sensor de oxígeno (Sonda Lambda)

El segundo grupo corresponde al componente de procesamiento, el cual cuenta con un único elemento que es la unidad de control electrónica y cuya función es interpretar la información que recibe de los sensores y determinar los tiempos de activación de los elementos del tercer grupo para así controlarlos adecuadamente.



**Figura 12. ECU de la Yamaha FJR1300.**

**Fuente: (Nakamura, Takahiko, Masashi, Michihisa, & Yuuichirou, 2003).**

El tercer grupo, que está formado por elementos de salida, corresponde a los actuadores del sistema, mismo que son los que realmente ejecutan las acciones necesarias que se requieren para que el motor pueda funcionar correctamente según los cálculos efectuados por la ECU.

Los actuadores más usuales son:

- Bomba de combustible
- Inyector
- Bujía



**Figura 13. Inyector de la motocicleta Yamaha FJR1300**  
**Fuente. (Nakamura, Takahiko, Masashi, Michihisa, & Yuuichirou, 2003).**

### **2.13. Sistema de inyección por Alfa-N**

(Martin, 2012) Las motocicletas utilizan generalmente dos tipos de estrategias de inyección conocidas como Alfa-N y Velocidad-densidad, que se diferencian en la forma en que se determina la cantidad de carga que ingresa al motor, que se usa para determinar los pulsos de inyección dentro de los límites de 2ms a 12ms.

(Martin, 2012) El sistema Alfa-N usa dos entradas básicas para calcular el ancho de pulso que son la velocidad del motor y la posición del estrangulador de la admisión o mariposa rigiéndose por el movimiento rápido de este último utilizando cálculos sencillos como combinaciones e interpolaciones y se calibra de forma empírica.

(Wade, 2004) Debido a que este Sistema sólo estima la carga de aire que ingresa en función de dos parámetros es por mucho el método menos preciso para la determinación del ancho de pulso, lo que significa que se incrementará el consumo de combustible y en ocasiones se reduce la potencia de manera significativa.

## 2.14. Sistema de inyección por velocidad-densidad

(Martin, 2012) El sistema de inyección por velocidad-densidad usa las rpm y la medida de la carga de aire que ingresa para determinar el ancho de pulso, lo cual logra por medio de un sensor de presión ubicado en el ducto de admisión que mide la presión absoluta del aire que ingresa.

(Martin, 2012) Debido a que se mide de forma más directa la cantidad de aire de admisión, este método es más preciso que el sistema Alfa-N, lo que mejora el consumo e incrementa la potencia, con la ligera desventaja de que no es preciso en motores de bajo cilindraje.

Para determinar la cantidad de combustible que debe ingresar se requiere de una serie de cálculos que se detallan a continuación.

### 2.14.1. Ciclo de trabajo

[ Fluke Corporation, 2017 ] Se define como la relación de tiempo en el que un circuito o una carga está en estado activo comparado con el periodo del proceso.

(Banish, 2007) Para un inyector, el ciclo de trabajo se refiere a la relación entre el tiempo en éste se encuentra abierto o inyectando y el tiempo que toma un ciclo completo del pistón y se expresa en porcentaje.

$$\%Ciclo\ de\ trabajo = \frac{Ancho\ de\ pulso}{Periodo\ del\ ciclo} * 100 \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

*%Ciclo de trabajo*    Ciclo de trabajo en porcentaje.

*Ancho de pulso*    Tiempo que dura el pulso de activación del inyector.

*Periodo del ciclo*    Tiempo que tarda un ciclo completo del pistón.

O también como:

$$\text{Ciclo de trabajo} = \frac{m_c}{m_i} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

- $m_c$  Masa requerida de combustible  
 $m_i$  Máxima masa de combustible entregada por el inyector

### 2.14.2. Masa de aire de admisión

(Stone & Ball, 2004) Es la masa real de aire que ingresa al cilindro durante la carrera de admisión; se puede hallar con la eficiencia volumétrica a través de la siguiente ecuación.

$$m_a = EV * \delta * V_c * N' \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

- $m_a$  Masa real de aire de admisión  
 $\Delta$  Densidad del aire  
 $EV$  Eficiencia volumétrica  
 $V_c$  Volumen teórico de aire desplazado en el cilindro  
 $N'$  Frecuencia del ciclo, RPM/120[s<sup>-1</sup>] para un ciclo Otto de 4 tiempos.

### 2.14.3. Relación aire-combustible

(Armansyah, 2016) Se define como la relación entre las masas de aire y combustible presentes en la combustión de la mezcla en el motor.

$$Rac = \frac{m_a}{m_c} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

$R_{ac}$	Relación aire-combustible
$m_a$	Masa de aire
$m_c$	Masa de combustible

[ NGK Corporation Europe, 2017 ] Existen diferentes proporciones de mezcla sin embargo existe una de especial interés, “la proporción ideal de aire y combustible en un motor de gasolina es de 14,7 kg de aire por 1 kg de combustible. Esta relación ideal se denomina ‘mezcla estequiométrica’”.

#### 2.14.4. Densidad del aire

[ NASA, 2015 ] Densidad es la cantidad de masa de una sustancia presente en un determinado volumen y su variación está sujeta a las leyes de la termodinámica, es decir a cambios en la presión, temperatura y volumen del dicha sustancia.

(Gómez-Acebo, 2005) La densidad del aire puede determinarse a través de la ecuación general de los gases ideales de la siguiente forma.

$$\delta = \frac{P * M}{R * T} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

$\delta$	Densidad del aire de admisión
$P$	Presión del aire de admisión
$M$	Peso molecular del aire
$R$	Constante de gases ideales
$T$	Temperatura del aire de admisión

### 2.14.5. Ancho de pulso real

Para obtener la ecuación de ancho de pulso real es necesario realizar un proceso combinatorio de las ecuaciones hasta ahora mencionadas de la siguiente manera.

Combinado las ecuaciones 44 y 46 se tiene que:

$$m_a = EV * \frac{P * M}{R * T} * V_c * N' \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

$m_a$	Masa de aire
$EV$	Eficiencia volumétrica
$P$	Presión del aire de admisión
$M$	Peso molecular del aire
$R$	Constante de gases ideales
$T$	Temperatura del aire de admisión
$V_c$	Volumen teórico de aire desplazado en el cilindro
$N'$	Frecuencia del ciclo, RPM/120[s <sup>-1</sup> ] para un ciclo Otto de 4 tiempos.

Ahora introduciendo esta expresión en la ecuación de relación aire-combustible se obtiene la cantidad de masa necesaria de combustible para la combustión:

$$m_c = \frac{EV * \frac{P * M}{R * T} * V_c * N'}{Rac} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

$m_c$	Masa de combustible
$EV$	Eficiencia volumétrica
$P$	Presión del aire de admisión
$M$	Peso molecular del aire

$R$	Constante de gases ideales
$T$	Temperatura del aire de admisión
$V_c$	Volumen teórico de aire desplazado en el cilindro
$N'$	Frecuencia del ciclo, RPM/120[s <sup>-1</sup> ] para un ciclo Otto de 4 tiempos.
$Rac$	Relación aire-combustible

Utilizando la segunda forma del ciclo de trabajo mostrada en la ecuación 45, se tiene:

$$\text{Ciclo de trabajo} = \frac{EV * P * M * V_c * N'}{m_i * Rac * R * T} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

$\% \text{Ciclo de trabajo}$	Ciclo de trabajo en porcentaje.
$m_i$	Máxima masa de combustible entregada por el inyector
$EV$	Eficiencia volumétrica
$P$	Presión del aire de admisión
$M$	Peso molecular del aire
$R$	Constante de gases ideales
$T$	Temperatura del aire de admisión
$V_c$	Volumen teórico de aire desplazado en el cilindro
$N'$	Frecuencia del ciclo, RPM/120[s <sup>-1</sup> ] para un ciclo Otto de 4 tiempos.
$Rac$	Relación aire-combustible

Y este último resultado se utiliza para determinar el ancho de pulso a partir de la ecuación 42:

$$\text{Ancho de pulso} = \text{Periodo de ciclo} * \frac{EV * P * M * V_c * N'}{m_i * Rac * R * T} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

<i>Ancho de pulso</i>	Tiempo que dura el pulso de activación del inyector.
<i>Periodo del ciclo</i>	Tiempo que tarda un ciclo completo del pistón.
<i>EV</i>	Eficiencia volumétrica
<i>P</i>	Presión del aire de admisión
<i>M</i>	Peso molecular del aire
<i>R</i>	Constante de gases ideales
<i>T</i>	Temperatura del aire de admisión
<i>V<sub>c</sub></i>	Volumen teórico de aire desplazado en el cilindro
<i>N'</i>	Frecuencia del ciclo, RPM/120[s <sup>-1</sup> ] para un ciclo Otto de 4 tiempos.
<i>Rac</i>	Relación aire-combustible

## 2.15. Sistema de encendido

El propio principio de funcionamiento del motor, requiere que se lleve a cabo un proceso de combustión dentro del mismo, para lo cual tres elementos son necesarios: combustible, aire y calor.

(Bremond & Merceron, 2004) En los motores pequeños, como los de motocicleta, los diseños de sistemas de encendido se basan exclusivamente en los CDI (Capacitive Discharge Ignition) o encendido por descarga capacitiva.

Considerando esto, el presente trabajo, se centrará únicamente el estudio y diseño del sistema de encendido CDI, que hace uso de la energía almacenada en un capacitor y que es liberada en forma de un pulso de alto voltaje a través de un transformador elevador hacia la bujía.

## **2.16. Componentes del sistema de encendido**

En motocicletas, el sistema de encendido es bastante sencillo y consta normalmente de los siguientes componentes:

### **2.16.1. Generador de voltaje**

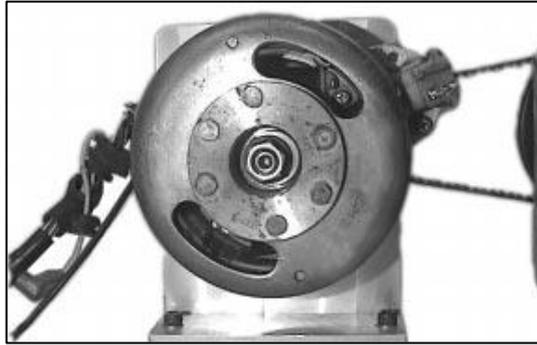
Para poder alimentar los circuitos es necesario que exista una fuente que pueda proveer de una señal de voltaje relativamente alto que cargue al capacitor del CDI.

(Lam, 2004) Los Generadores de motocicleta son generalmente monofásicos debido a su tamaño y funcionan incorporando imanes permanentes al volante o a su eje (rotor), los cuales al girar inducen un voltaje en las bobinas fijas (estator); este voltaje es variable y depende de la velocidad angular del rotor y oscila entre los 100V y 400V RMS.

### **2.16.2. Pulser**

Es un dispositivo encargado de identificar la posición angular del cigüeñal en la cual debe saltar la chispa; es el equivalente a un CKP común.

(Lam, 2004) Es una pequeña bobina montada sobre estator del generador, que por medio de una protuberancia o diente que existe en el rotor, induce un voltaje en la bobina y envía señales pulsantes sinodales y alternas separadas aproximadamente unos 35 grados mecánicos.



**Figura 14. Generador de voltaje junto con el pulser en la parte superior derecha.**

**Fuente: (Lam, 2004).**

### **2.16.3. Bobina de encendido**

[ Hella KGaA Hueck & Co., 2009 ] Es la encargada de elevar el voltaje que recibe para que la chispa pueda saltar en la bujía; los voltajes que puede producir en su salida dependen del diseño de la bobina y las necesidades del motor pero puede estar entre los 10kV y 45kV.

Está formada por un núcleo de acero laminado sobre el cual se arrollan dos bobinados denominados bobinado primario o de entrada y bobinado secundario o de salida el cual está situado debajo del primario.

[ Hella KGaA Hueck & Co., 2009 ] El secundario está hecho unas 50000 vueltas de alambre de cobre esmaltado de 0.05 a 0.1mm y el primario de 0.6 a 0.9mm con una relación de vueltas de 1:100.

### **2.16.4. Bujía**

(Lam, 2004) Es el elemento final en la cadena de encendido. Está encargada de producir la chispa que encenderá la mezcla de aire-combustible dentro del cilindro.

Una alta eficiencia del motor y la combustión completa de la mezcla depende de una buena calidad de chispa; generalmente un estimado de 20mJ son necesarios para que bujía pueda producir una chispa aceptable.

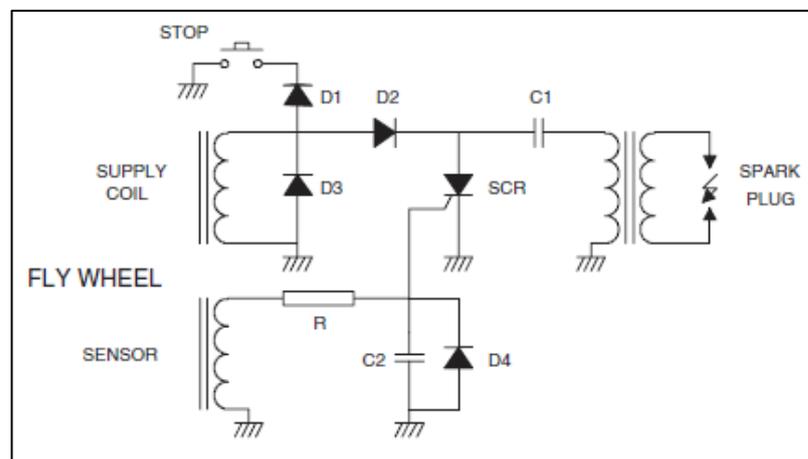
### 2.16.5. Módulo del CDI

Es el encargado de controlar el instante de activación de la bobina de encendido, captando las señales del pulser y enviando el pulso de activación para que la bobina de encendido realice su trabajo. Se encuentra ubicado entre el generador y la bobina de encendido, controlando el funcionamiento de esta última por lo que se puede considerar como el cerebro de este sistema.

### 2.17. Funcionamiento del CDI

Como su nombre lo indica, este sistema trabaja por medio de la carga y descarga de un capacitor, mismo que se encuentra acoplado a unos pocos elementos semiconductores que realizan la función de direccionar el sentido de circulación de corriente según lo requiera el circuito.

La configuración más básica es la siguiente:



**Figura 15. Configuración básica del circuito de un CDI.**  
**Fuente: (Bremond & Merceron, 2004).**

La fuente de alimentación (supply coil) envía al circuito un voltaje alterno aproximadamente senoidal, cuyo valor pico varía en función de la velocidad de giro del motor.

(Bremond & Merceron, 2004) Durante el pico positivo, la señal atraviesa el diodo D2, al no estar activado el SCR, la corriente sólo puede fluir hacia el capacitor, el cual inicia su proceso de carga; dicho proceso de carga continúa hasta que finaliza el rizo positivo o hasta que el capacitor se encuentre completamente cargado, momento en el cual el voltaje del capacitor alcanza su máximo y se interrumpe el paso de corriente.

Durante el ciclo negativo, la corriente que fluye en sentido contrario, intenta pasar por el capacitor en dirección opuesta, lo que lo descargaría, sin embargo, el diodo D2 impide que la corriente continúe su camino manteniendo así la carga.

(Lam, 2004) Paraescargar, el CDI necesita que se active el SCR, para lo cual existe el circuito de disparo, que se activa cuando el sensor envía la señal de que el pistón se encuentra en punto requerido para que la chispa salte.

Cuando el sensor o pulser envía la señal, esta es acondicionada por medio de la resistencia R, el capacitor C2 y el diodo D4, los cuales permiten que la corriente se mantenga estable y llegue a la compuerta o gate del SCR activándolo, lo que produce que la carga almacenada en capacitor C1 se libere y envíe una corriente que circulará a través del primario de la bobina de encendido induciendo un voltaje en la misma, el cual a su vez inducirá un voltaje mayor en el secundario, el cual generará la chispa en la bujía.

El diodo D3 se encuentra y el D1 se encuentran dispuestos de modo que cuando se quiera apagar el motor, se cierre el contacto de stop y la corriente del generador circule directamente a tierra, evitando así que se repita el ciclo de carga y descarga del capacitor C1.

## 2.18. Energía del capacitor

(Rees, 2007) Debido a que una de las principales aplicaciones del capacitor es almacenar energía, es importante establecer una forma de determinar cuánta energía puede ser almacenada en el mismo, para lo cual se parte de la cantidad de trabajo que se requiere para cargar las placas del mismo, teniendo como resultado que éste es equivalente a la energía potencial almacenada en dichas placas.

La energía almacenada puede calcularse a través de la siguiente expresión:

$$W_c = \frac{C * V^2}{2} \quad \text{Ecuación 51}$$

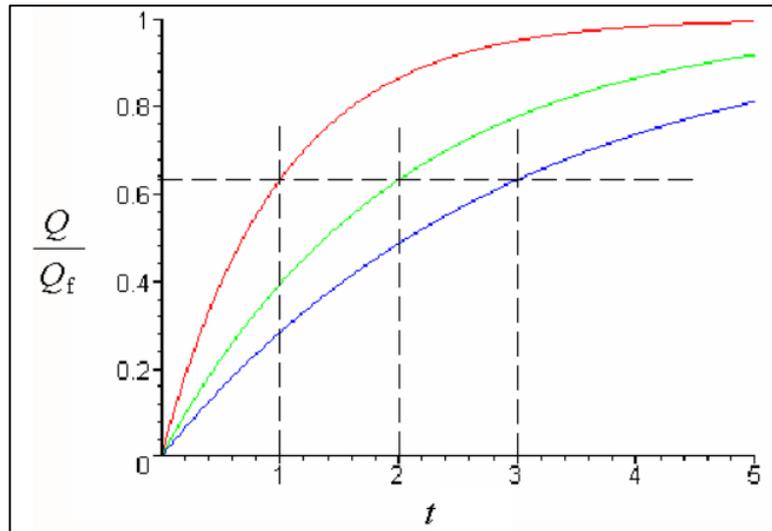
Donde

$W_c$	Energía del capacitor
$C$	Capacitancia
$V$	Voltaje de carga

## 2.19. Tiempo de carga y descarga de un capacitor

Debido a que los procesos de carga y descarga del capacitor no son instantáneos se debe también determinar el modelo matemático que define dichos procesos.

(Rees, 2007) El proceso de carga es exponencial, estando dividido en secciones que dependen de un valor denominado “Constante de Tiempo”, la cual para la carga es el tiempo en que se tarda en alcanzar el  $1-1/e$  de su valor total, equivalente a 0.6321 o 63.21% de dicho valor.



**Figura 16. Curvas de carga para tres valores distintos de constante de tiempo.**

**Fuente: (Rees, 2007).**

La ecuación para la constante de tiempo es la siguiente:

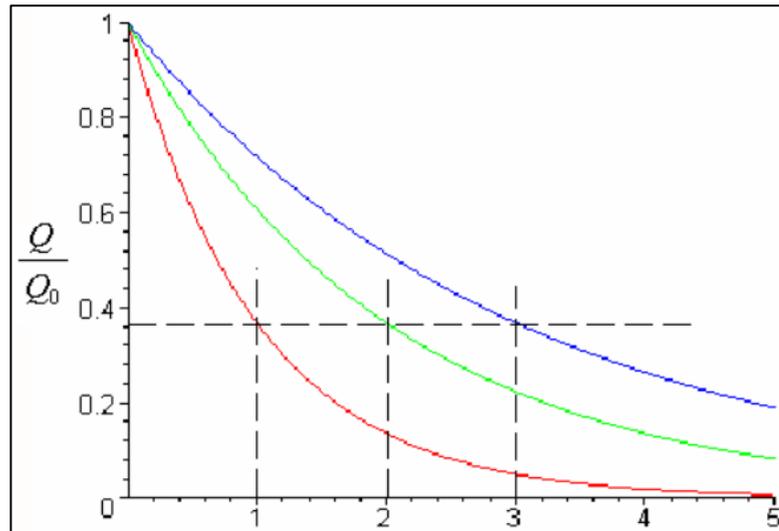
$$T = R * C$$

Ecuación 52

Donde:

- $T$  Constante de tiempo
- $R$  Resistencia de carga o descarga
- $C$  Capacitancia

(Rees, 2007) El proceso de descarga es exponencial de igual forma que el de carga, siendo para éste el valor de la “constante de tiempo” equivalente al tiempo que tarda en descargarse hasta un valor de  $1/e$  del valor total de carga, siendo por lo tanto igual a 0.3679 o 36.79 de dicho valor.



**Figura 17. Curvas de descarga para tres valores distintos de constante de tiempo.**  
**Fuente: (Rees, 2007).**

De las gráficas se puede deducir fácilmente que para que el capacitor alcance un valor superior al 90% de su carga total se requiere de un periodo igual a 5 veces la constante de tiempo, lo cual es válido también para descarga.

$$t = 5 * R * C$$

Ecuación 53

Donde

$t$	Tiempo de carga o descarga
$R$	Resistencia de carga o descarga
$C$	Capacitancia

## 2.20. Avance al encendido

Como ya se vio, el CDI posee un circuito que toma la señal del pulser y la acondiciona para activar el scr, sin embargo, éste sólo puede proporcionar la chispa a una misma posición angular durante todo el rango de rpm a las que puede trabajar el motor.

(Zareei & Kakaee, 2013) La velocidad con la que se propaga la llama de combustión es aproximadamente constante, sin embargo, la velocidad del pistón dependerá del régimen del motor y a medida que aumenta, la explosión no logrará culminar en el tiempo adecuado y no se producirá de forma en la que la presión logre empujar eficientemente al pistón en la carrera de trabajo.

Esto indica que para que la combustión pueda realizarse de forma completa y eficiente, es necesario que la misma inicie antes de que el pistón alcance el punto muerto superior en la carrera de compresión.

Para corregir este problema es necesario incorporar al sistema un elemento que permita adelantar la posición a la que ocurra la explosión para que la misma pueda entregar la mayor cantidad de energía a favor del movimiento del pistón.

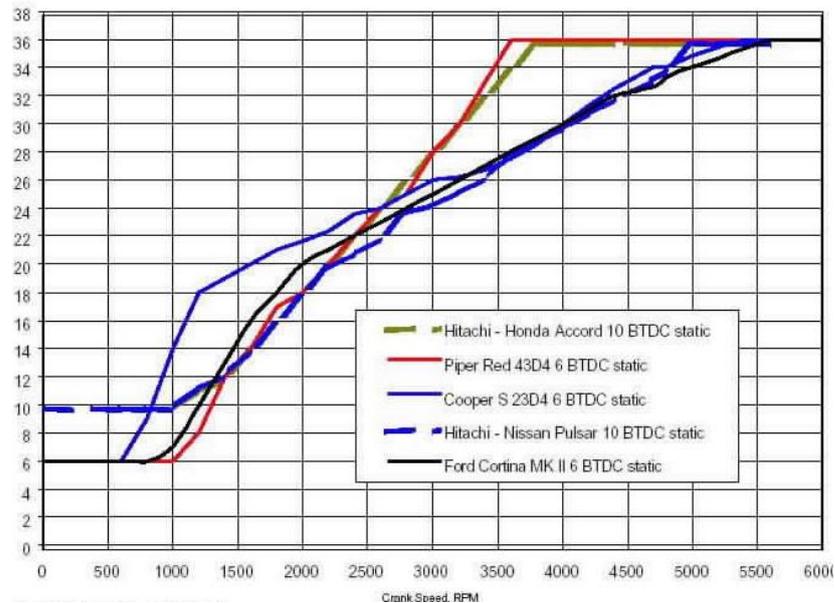
(Zareei & Kakaee, 2013) Además de eso, otros parámetros que tienen relación directa con el avance al encendido son la eficiencia y las emisiones, lo que aumenta la importancia de este factor pues permite ajustar los motores a las normas ambientales actuales y fijar objetivos para futuro.

### **2.20.1. Funcionamiento**

En sus inicios los sistemas de adelanto consistían de mecanismos centrífugos, formados por dos resortes que permitían controlar los límites de adelanto, así como la cantidad del mismo.

(Banish, 2007) Sin embargo, en la actualidad la electrónica ha permitido la creación módulos más precisos y flexibles que su contraparte mecánica, en su configuración más básica, reciben información sobre el régimen del motor a partir del pulser o ckp y a partir de eso calculan los grados de avance requeridos por el motor o comparan el valor de una tabla almacenada en la memoria interna y con toman de ahí la cantidad de grados de adelanto necesarios.

Se puede obtener una curva característica de la relación entre régimen del motor y los grados de avance, llamada curva de avance al encendido, la cual puede tomar distintas formas dependiendo del motor sobre la que está trabajando, teniendo sin embargo un cierto trazado típico que se puede reconocer fácilmente.

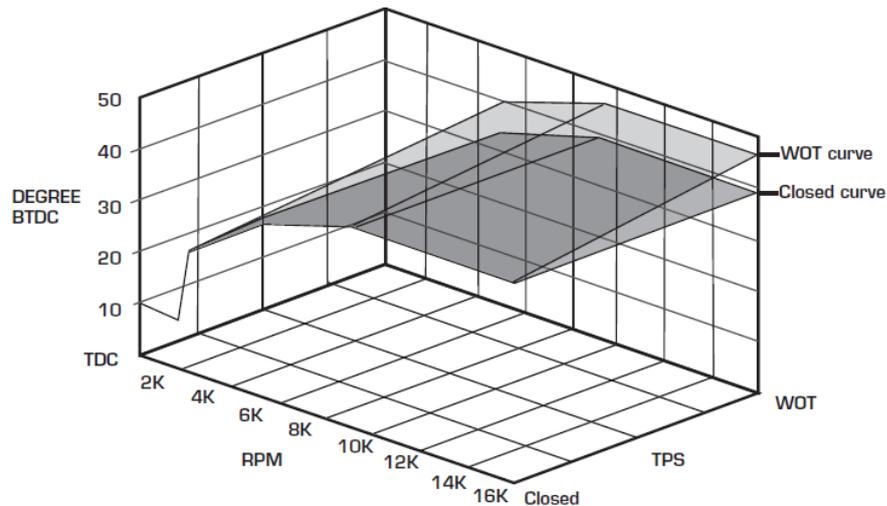


**Figura 18. Curvas típicas de avance al encendido de módulos de diferentes fabricantes.**

**Fuente: (Chichak, 2002).**

Con la incorporación de sensores, usados principalmente para el sistema de inyección, se ha abierto el campo para la elaboración de conjuntos de curvas de avance al encendido, con las que se puede variar mucho más el avance debido a que permiten elegir los grados de adelanto entre un rango mucho más amplio según las necesidades instantáneas del motor.

[ Autotronic Controls Corporation, 2007 ] Al representar estos conjuntos en espacios cartesianos se puede observar que se forman superficies similares a las que se observan en los mapas de inyección electrónica por lo que pasan a denominarse mapas de avance al encendido.

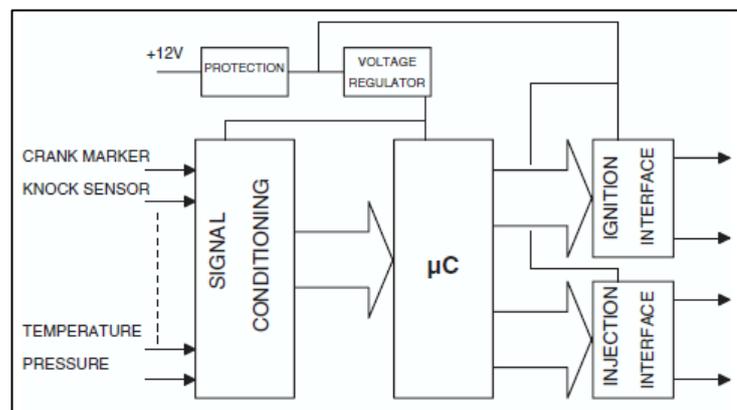


**Figura 19. Mapa de avance al encendido usando un TPS.**  
**Fuente: (Autotronic Controls Corporation, 2007)**

### 2.21. Módulo de control electrónico

(Banish, 2007) Los módulos de control electrónico son los encargados de gestionar toda la información proveniente de los sensores, y con ella realizar todos los cálculos necesarios y tomar las decisiones acerca de los tiempos de entrada, duración y salida de cada actuador sobre el que tenga el control.

Generalmente el módulo se encarga de gestionar al sistema de inyección electrónica y al sistema de encendido, determinando los tiempos de los pulsos de inyección y los grados de avance al encendido.



**Figura 20. Diagrama de bloques de la unidad de control electrónico.**  
**Fuente: (Lam, 2004).**

## 2.22. Acondicionamiento de señales

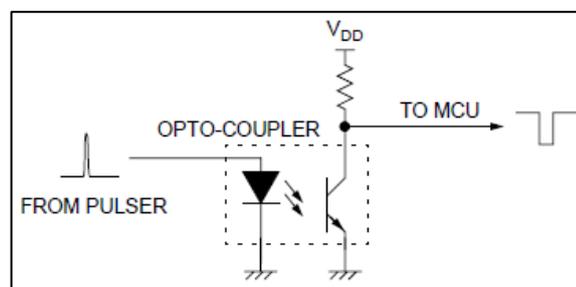
(Bremond & Merceron, 2004) Uno de los requisitos más importantes para que el módulo de control pueda hacer su trabajo de forma adecuada y correcta, es que las señales que envían los sensores lleguen al microcontrolador con la mayor fidelidad posible y de forma que puedan ser interpretadas por el microcontrolador.

Las señales de sensores de tipo resistivo, como las provenientes del TPS o del ECT, son continuas y su variación es relativamente lenta por lo que pueden ser ingresadas al microcontrolador directamente o sin mayores complicaciones, o en el peor de los casos, requerirán de un amplificador si es que su intensidad no fuese la necesaria.

Los sensores de efecto hall y los ópticos, tienen señal de salida digital que ya se encuentra acondicionada por lo que también puede ser ingresada de forma directa.

Sin embargo, los sensores de tipo inductivo, como el CKP o el pulser, que envían señales de tipo senoidal y cuya intensidad depende del régimen del motor, requieren de un acondicionamiento antes de ingresar al microcontrolador.

(Lam, 2004) Lo más utilizado para este propósito es un optoacoplador, que filtra los picos provenientes del sensor y además convierte los pulsos analógicos en pulsos digitales para que ingresen al microcontrolador.



**Figura 21. Circuito básico de acondicionamiento de señales usando un optoacoplador.**

**Fuente: (Lam, 2004).**

(Lam, 2004) Para proteger al acondicionador de las corrientes elevadas que podrían quemar al optoacoplador se utiliza una resistencia de entrada al mismo, que disminuye la corriente y sirve de divisor de voltaje. Dicha resistencia se obtiene por medio de la siguiente ecuación.

$$R1 = 4 * \frac{V_{m\acute{a}x\ opto} - V_{m\acute{a}x\ alim}}{I_{m\acute{a}x\ opto}} \quad \text{Ecuaci3n 54}$$

Donde:

$R$	Resistencia de carga
$V_{m\acute{a}x\ opto}$	Voltaje máximo del optoacoplador
$V_{m\acute{a}x\ alim}$	Voltaje máximo de alimentaci3n
$I_{m\acute{a}x\ opto}$	Corriente máxima del optoacoplador

# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO DEL MÓDULO DE INYECCIÓN Y AVANCE AL ENCENDIDO**

### **3.1. Introducción a la Propuesta**

Actualmente en el país, dentro del ámbito de las motocicletas, los sistemas de alimentación y encendido se han mantenido prácticamente sin cambios, utilizando carburadores y sistemas de encendido fijo, lo cual es muy poco apropiado e ineficiente si se considera el ritmo de avance tecnológico, las regulaciones medioambientales y los requerimientos de mejora de desempeño y disminución de consumo de combustible.

El módulo de control de inyección y avance al encendido es una alternativa económica y tecnológicamente viable que permite obtener mejoras frente a los sistemas actuales tanto en la economía como en rendimiento del motor.

Para poder obtener dichas mejoras el sistema debe cumplir con los siguientes requisitos de operación:

- Identificar las condiciones de funcionamiento del motor por medio de sensores distribuidos a lo largo del mismo, tales como temperatura de funcionamiento, presión de admisión, posición del acelerador y posición del cigüeñal.
- Procesar la información obtenida para determinar los tiempos exactos de encendido y apagado del inyector y el ángulo de disparo de la bobina de encendido.
- Ejecutar la activación de los actuadores según lo requerido por el motor a lo largo de todo el rango de régimen de giro del motor.
- Interrumpir la operación de los actuadores en caso de salirse de los niveles correctos de funcionamiento.

### 3.2. Parámetros de diseño

Existen ciertos parámetros que restringen el diseño y deben ser tomados en cuenta para que el módulo pueda funcionar correctamente y no se produzcan daños; dichos parámetros son los siguientes:

**Tabla 4.**  
**Parámetros de operación del módulo.**

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación DC	8V – 16V
Voltaje de bobina de carga del capacitor	412Vp - máx
Temperatura de operación	85°C – máx
Voltaje de señal de entrada desde sensores	5Vdc – máx

Además de esto, es necesario tomar en cuenta a las características propias del motor, las cuales inciden de manera directa en el diseño del módulo, tanto en su modo de operación como en su construcción, y se detallan a continuación:

**Tabla 5.**  
**Características del motor.**

Parámetro	Valor
Cilindrada	196.3cc
Régimen de giro máximo	10000rpm
Régimen de giro a ralentí	1200rpm
Temperatura máxima de operación	110°C

Se tiene que, para el inyector, de acuerdo a datos de la hoja de datos, presenta los siguientes valores:

**Tabla 6.**  
**Características del inyector.**

Parámetro	Valor
Flujo (totalmente abierto)	3.75g/s a 3bar
Alimentación (Corriente continua)	8V – 16V
Resistencia	14.5Ω
Máximo ciclo de trabajo	90%

Además de esto, también se debe tomar en cuenta las señales que envían los sensores puesto que, de acuerdo a su tipo e intensidad, pueden necesitar ser acondicionadas para ingresarlas al microcontrolador.

**Tabla 7.**  
**Características de los sensores**

Sensor	Tipo	Alimentación	Tipo de señal de salida	Voltaje máximo de salida
Temperatura del motor	Circuito integrado	5Vdc	DC, Analógica lineal	5Vdc
Temperatura del aire	Circuito integrado	5Vdc	DC, Analógica lineal	5Vdc
Presión de admisión	Piezoeléctrico	5Vdc	DC, Analógica lineal	5Vdc
Posición del acelerador	Resistivo	5Vdc	DC, Analógica lineal	5Vdc
Posición del cigüeñal	Inductivo	Inducción electromagnética	AC, Analógica senoidal	15Vdc

### 3.3. Diseño del módulo de control

El corazón del sistema de inyección y avance al encendido es el módulo de control que, ya que se encarga de la adquisición y procesamiento de señales para el posterior accionamiento de los actuadores.

Dentro del módulo, el verdadero responsable de realizar todas estas acciones es el microcontrolador por lo que el primer paso para el diseño, es la selección adecuada de este dispositivo, de forma que pueda ejecutar todo el proceso a la velocidad y con la precisión óptimas.

#### 3.3.1. Selección del microcontrolador

En la selección del microcontrolador, es necesario establecer las funciones específicas que debe cumplir el mismo para, en base a dichas funciones, determinar las características mínimas que debe poseer para poder ejecutar adecuadamente su trabajo.

Es necesario precisar el número mínimo de pines que debe tener para poder recibir las señales de los sensores y posteriormente enviarlas a los actuadores lo cual se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 8.**  
**Número de pines necesarios en el microcontrolador**

Señal	Número de pines
Sensores	5
Actuadores	2
Alimentación	2
Referencia	2
Reset	1
Total	12

Otro aspecto importante es la capacidad de realizar conversión análogo-digital (ADC) puesto que varios sensores tienen salida analógica, por lo que además de poseer esta característica, el microcontrolador debe poseer los canales necesarios para ejecutar todas las conversiones al mismo tiempo.

**Tabla 9.**  
**Número de canales ADC necesarios en el microcontrolador.**

Sensor	Canal ADC
Temperatura del motor	Sí
Temperatura del aire	Sí
Presión de admisión	Sí
Posición del acelerador	Sí
Posición del cigüeñal	No
Total de canales	4

En la actualidad en el mercado nacional se pueden encontrar dos marcas de microcontroladores, cada una con diferentes modelos cuyas características los hacen más adecuados para una u otra aplicación por lo que además de todo lo anteriormente expuesto, es necesario disponer

de otros criterios fácilmente ponderables que permitan una selección adecuada, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 10.**  
**Definición de parámetros de selección y establecimiento de pesos de cada uno.**

Parámetro	Criterio	Valor
Memoria flash	< 8kbyte	1
	8kbyte-16kbyte	2
	> 32kbyte	3
Memoria RAM	< 500kbyte	1
	500kbyte – 1000kbyte	2
	> 1000kbyte	3
Temperatura de operación	< 50°C	1
	50°C-90°C	2
	> 80°C	3
Número de pines	< 12	0
	> 12	1
Número de canales ADC	< 4	0
	> 4	1
Frecuencia de operación (fosc)	< 8MHz	1
	8MHz-12MHz	2
	> 12MHz	3
Número de ciclos por instrucción (c/i)	1	3
	2 – 4	2
	> 4	1
Costo	< \$4.00	3
	\$4.00 - \$5.50	2
	> \$5.50	1

En base a la tabla 10, es posible ahora establecer la ponderación para la selección de acuerdo a las hojas de datos de los microcontroladores disponibles en el mercado como se muestra a continuación:

**Tabla 11.**  
**Ponderación de microcontroladores.**

Microcontrolador	Parámetro								Total
	Flash	RAM	T	Pin	ADC	focs	c/i	Costo	
PIC12f675	1	1	3	0	1	3	2	3	14
PIC16F628A	1	2	3	1	1	3	2	2	15
PIC16F877A	3	3	3	1	1	3	2	1	17
PIC18F4550	3	3	3	1	1	3	2	1	17
ATMEGA8	1	2	3	1	1	3	3	2	16
ATMEGA16	2	3	3	1	1	3	3	1	17
ATMEGA328P	3	3	3	1	1	3	3	2	19
ATTINY2313	1	1	3	0	0	3	3	3	14
ATTINY85	1	2	3	0	1	3	3	3	16

A partir de la tabla 11 se determina que el microcontrolador a utilizar es el ATMEGA328P, del cual se detallan sus datos más importantes en la siguiente tabla.

**Tabla 12.**  
**Características generales del microcontrolador ATMEGA328P**

Característica	Valor
Memoria flash	32kbytes
Memoria RAM	2kbytes
Número de pines	28
Número de canales ADC	8
Voltaje de operación	1.8V-5.5V
Temperatura de operación	-40°C – 105°C
Frecuencia de operación	Hasta 20MHz

Además de las características mencionadas, es importante destacar otros beneficios propios de la serie AVR a la que pertenece el microcontrolador seleccionado y que, aunque no son relevantes en la ponderación, son muy importantes dentro del propio diseño; dichos beneficios son:

- Alta tolerancia al ruido que permite reducir la complejidad y tamaño de los sistemas de filtrado.
- Posibilidad de programación en sistema armado (ISP) que ayuda en el desarrollo del prototipo ya que permite cargar el código sin necesidad de desmontar el microcontrolador.
- Oscilador RC interno con una tolerancia de alrededor del 3% que evita la necesidad de colocar un cristal de cuarzo para la señal de reloj reduciendo aún más el tamaño del circuito.
- Software de desarrollo y compilador gratuitos que reducen los costos de fabricación.

### 3.3.2. Fuente de alimentación

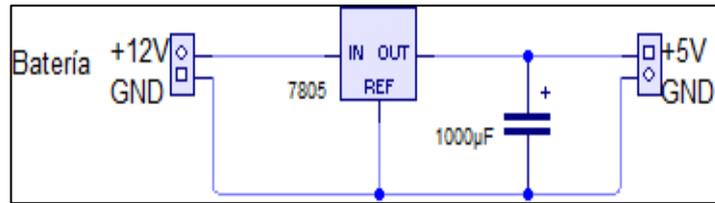
Para alimentar al microcontrolador y a los sensores, es necesario ajustar el voltaje de entrada al módulo los 5V de corriente directa que necesitan estos dispositivos.

Para este propósito se utiliza un regulador de voltaje de tipo circuito integrado; de acuerdo al manual de dispositivos ECG-NTE y a los dispositivos disponibles en el mercado nacional, se tiene que el adecuado es el LM7805, cuyas especificaciones generales son las siguientes:

**Tabla 13.**  
**Características del regulador LM7805**

Parámetro	Valor
Vin	35V <sub>máx</sub>
Vout	4.8V-5.2V
I <sub>p</sub>	2.2 <sup>a</sup>
Top	-65°C – 150°C

Para la reducción de rizados y reducción de ingreso de ruido se coloca un capacitor a la salida, que de acuerdo a la hoja de datos del dispositivo se aconseja de entre 1 $\mu$ f a 1mf, por lo que se toma el valor superior teniendo así el circuito de alimentación completo.



**Figura 22. Diagrama de la fuente de alimentación para el módulo.**

### 3.3.3. Acondicionamiento de señales

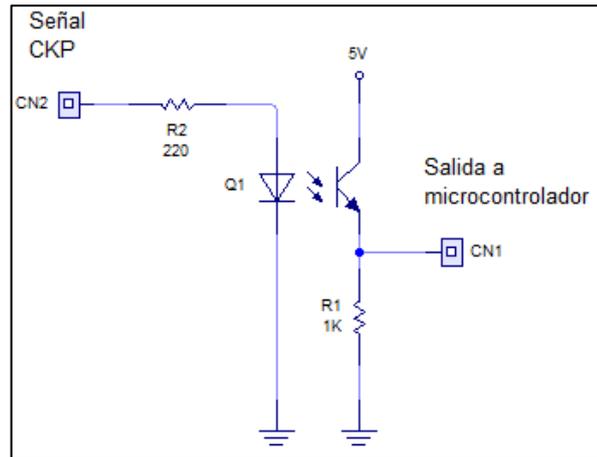
Debido a que el microcontrolador sólo puede manejar señales dentro de un rango limitado de voltajes es necesario acondicionar aquellas que ingresan al mismo en los casos que así lo requieran.

Como ya se estableció en la tabla 6, existen cuatro sensores que permiten que sus señales sean leídas directamente por el microcontrolador gracias al convertidor analógico-digital, por lo que éstos no requieren que sus señales sean acondicionadas.

El último sensor posee una salida senoidal en corriente alterna o AC, con una variación de hasta 15V, lo que no permite que la misma pueda ingresar directamente al microcontrolador incluso a través de los canales de convertidor análogo-digital.

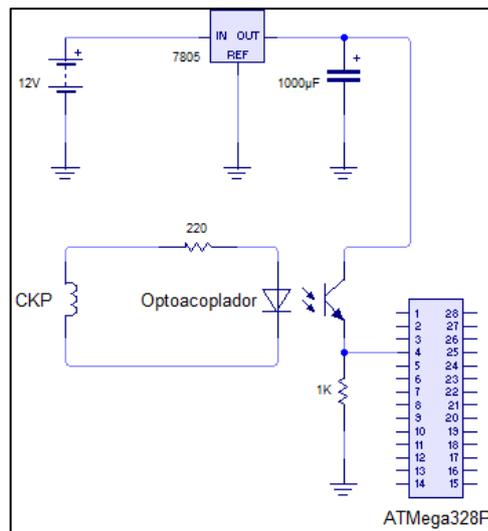
Existen varias estrategias que permiten acondicionar dicha señal, pero se tomará el sistema de inyección por Alfa mencionado en el capítulo 2 para este propósito, debido a las ventajas que allí se detallan.

Siguiendo el diagrama establecido para el acondicionamiento se obtiene el siguiente circuito:



**Figura 23. Esquema de acondicionamiento de señal para CKP.**

En base a este esquema se tiene que el diagrama de conexión para el acondicionador de señal es:



**Figura 24. Diagrama de conexión del acondicionador de señal para el CKP.**

De las condiciones de la señal ( $15V_{m\acute{a}x}$ ) y considerando una señal se procede a buscar en el ECG-NTE un optoacoplador que se adapte a dichas condiciones dando como resultado el 4N25.

En base a la hoja de datos de este dispositivo se tiene lo siguiente:

**Tabla 14.**  
**Características del optoacoplador 4N25**

Parámetro	Valor
V <sub>d</sub>	1.5V
V <sub>din</sub>	25V <sub>máx</sub>
V <sub>tin</sub>	30V <sub>máx</sub>
I <sub>d</sub>	60mA
t <sub>r</sub>	1.2us
t <sub>f</sub>	1.3us
I <sub>c</sub>	100mA

La resistencia de entrada al diodo se calcula utilizando la ley de Ohm de la siguiente manera:

$$V_s - V_d = I_d * R$$

$$R = \frac{15 - 1.5}{0.06}$$

$$R = 225\Omega$$

La tolerancia para una resistencia con banda dorada es del 5%, lo que produce para este caso un valor de:

$$R_t = 0.05 * R$$

$$R_t = 0.05 * 225$$

$$R_t = 11.25\Omega$$

Las resistencias comerciales más cercanas tienen valores de 220Ω y 270Ω; considerando que la tolerancia de la resistencia es de 11.25Ω el valor más apropiado para la aproximación es de 220Ω.

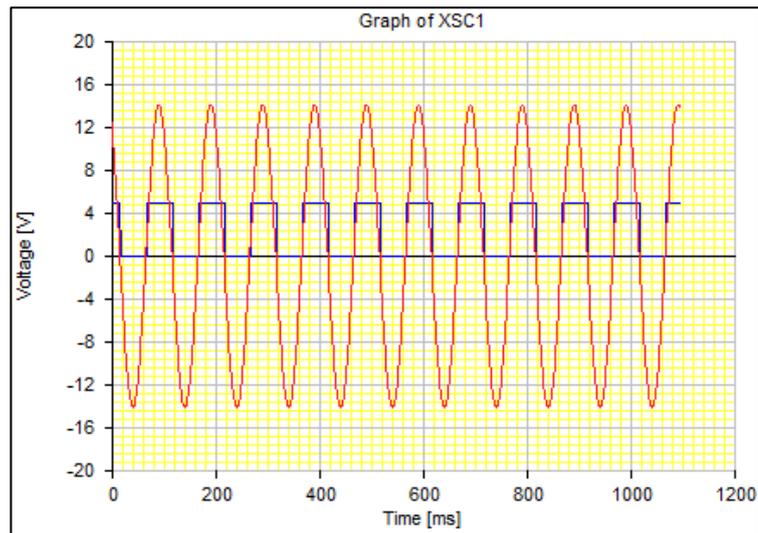
La resistencia de carga para la salida se calcula con la ecuación 54 descrita en el capítulo 2, teniendo que:

$$R1 = 4 * \frac{V_{máx\ opto} - V_{máx\ alim}}{I_{máx\ opto}}$$

$$R1 = 4 * \frac{30 - 5}{0.1}$$

$$R1 = 1000\text{ohm}$$

Para este caso, el resultado pertenece a un valor de resistencia estandarizada, por lo que no es necesario realizar el análisis del caso anterior.



**Figura 25. Oscilograma de salida del acondicionamiento de señal.**

En la figura 25, se puede notar el acondicionamiento realizado; en rojo se aprecia la señal proveniente del sensor y en azul la salida al microcontrolador.

Como es evidente, la frecuencia de entrada y salida son idénticas y sólo se elimina el ciclo negativo de la señal de entrada; debido a que este pulso se utilizará únicamente como referencia para conocer la posición del cigüeñal y para determinar la velocidad angular de éste, la transformación de señal no presenta afectaciones para el algoritmo ni las mediciones por lo que se toma como válida la forma de onda de salida del acondicionador.

Los cálculos realizados para el diseño del acondicionador se resumen en la tabla 15:

**Tabla 15.**  
**Resumen de cálculo para el acondicionador del CKP**

Variable	Ecuación	Valor
Resistencia de entrada	$V_s - V_d = I_d * R$	225Ω
Resistencia de tolerancia	$R_t = 0.05 * R$	11.25Ω
Resistencia de salida	$R1 = 4 * \frac{V_{m\acute{a}x\ opto} - V_{m\acute{a}x\ alim}}{I_{m\acute{a}x\ opto}}$	1000ohm

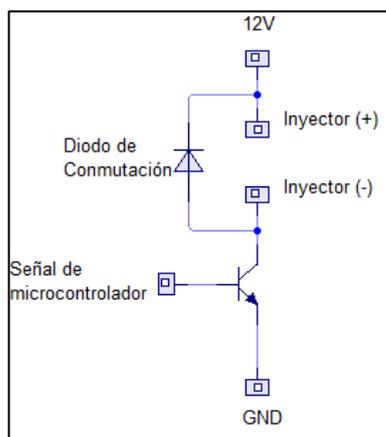
### 3.4. Etapa de potencia

A pesar de ser muy versátil, el microcontrolador no puede manejar grandes potencias, o lo que es lo mismo, no puede manejar corrientes o voltajes elevados.

Para solventar este inconveniente se han creado circuitos de potencia o drivers que pueden manejar dichas potencias y sirven de intermedio entre el módulo de control y los actuadores.

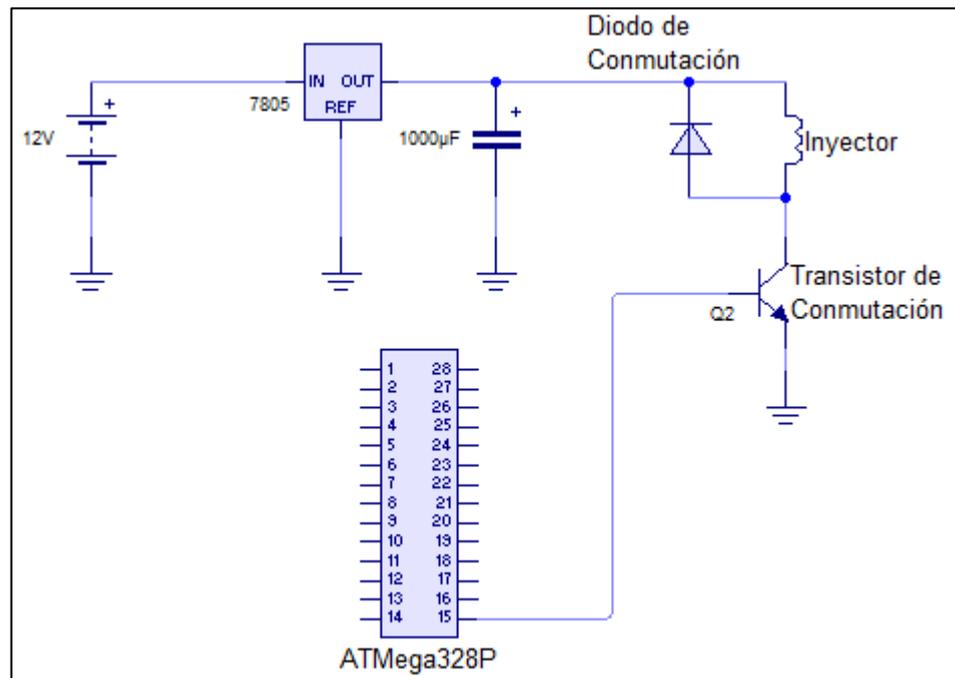
#### 3.4.1. Driver del inyector

Existen varias configuraciones disponibles para poder manejar voltajes y corrientes que son demasiado elevados para el microcontrolador, sin embargo, para este caso se utilizará la más sencilla de ellas debido a la relativa simplicidad del sistema.



**Figura 26. Circuito del driver del inyector.**

De acuerdo con esta configuración el circuito de conexión viene a ser el siguiente:



**Figura 27. Diagrama de conexión del driver de inyección.**

Para seleccionar el transistor es necesario recurrir a los datos del inyector de donde se tiene que la resistencia de éste es de  $14.5\Omega$  según los datos de la tabla 6.

Utilizando la ley de Ohm se tiene que:

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{12}{14.5}$$

$$I = 0.83A$$

Con esta información, sumada a los datos del inyector y las condiciones de funcionamiento, se realiza una búsqueda en el ECG-NTE teniendo como resultado que el dispositivo adecuado para este propósito es el TIP41C que es un transistor de conmutación rápida y se encuentra disponible en el mercado nacional.

**Tabla 16.**  
**Características de transistor TIP41C.**

Parámetro	Valor
Vce	100Vmáx
Ic	6Amáx
Ib	3Amáx
Top	150°Cmáx

Para proteger el circuito del alto voltaje que se auto induce momentáneamente durante el apagado de la bobina se utiliza comúnmente un diodo en paralelo con ésta en polarización inversa que la pone en cortocircuito y se descarga rápidamente durante este proceso evitando así los picos de tensión.

Debido a los rápidos cambios de frecuencia que tiene que experimentar dicho diodo, es adecuado utilizar un diodo de conmutación que puede cambiar su estado en forma instantánea; de los datos proporcionados por el ECG-NTE, comparados con los dispositivos disponibles en el país, se tiene que el seleccionado para esta acción es el 1N4148.

**Tabla 17.**  
**Características del diodo de conmutación 1N4148**

Parámetro	Valor
Vr	75V
Id	300mA
tp	1us
Top	175°C

Los cálculos para el driver de inyección se resumen en la tabla 18:

**Tabla 18.**  
**Resumen de cálculos para el driver de inyección.**

Variable	Ecuación	Valor
Corriente del inyector	$I = \frac{V}{R}$	0.83A

### 3.4.2. Driver de la bobina de encendido – CDI

Para manejar la carga y descarga de la bobina de encendido, se cuenta con el CDI, que en este caso es disparado por el microcontrolador con el respectivo retraso o adelanto que se requiera en cada caso.

La topología que se manejará se muestra en la figura 28:

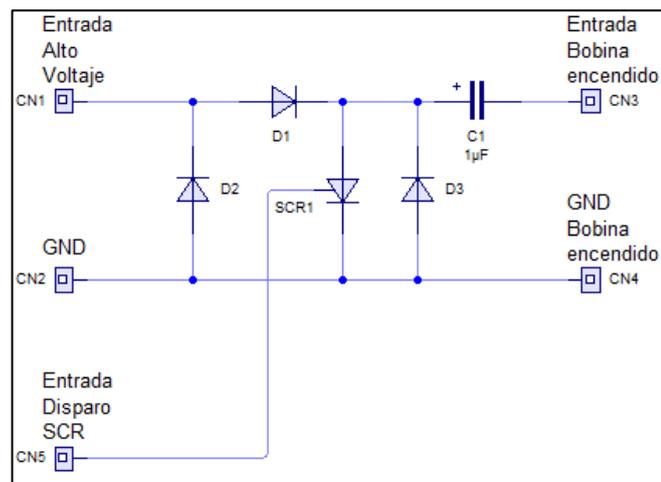


Figura 28. Topología del CDI.

A partir de esta topología, el diagrama de conexión en la figura 29:

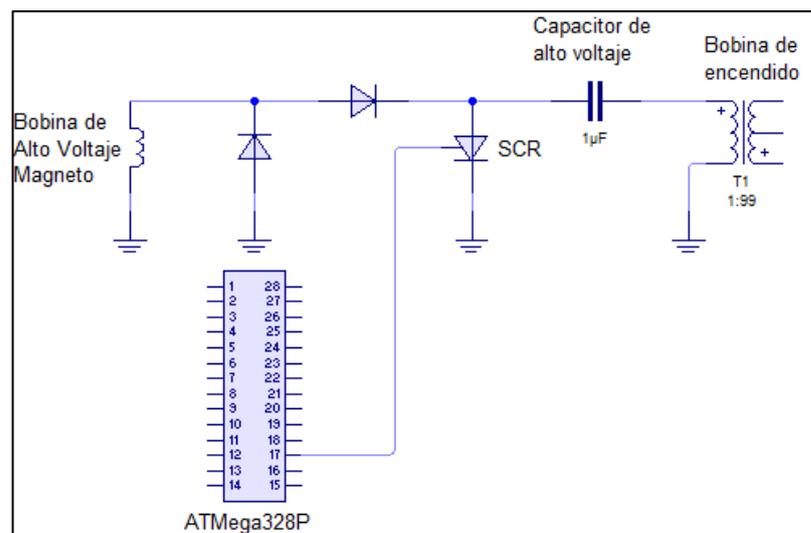
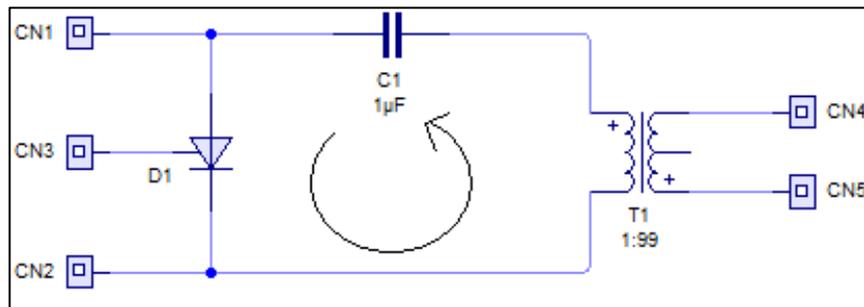


Figura 29. Diagrama de conexión del CDI.

Se ha elegido esta topología, que adiciona un diodo en paralelo al SCR, debido a que dicho elemento permite que en el periodo de “rebote” de voltaje que ocurre en la bobina de encendido en el instante de descarga, la corriente inversa generada cargue parcialmente el capacitor elevando así la velocidad de carga del mismo.

Para el cálculo del capacitor se toma en cuenta el lazo que lo forma, incluyendo a la bobina de encendido, de la figura 30:



**Figura 30. Lazo de descarga del capacitor.**

El capacitor recibe aproximadamente 408V desde el magneto luego la caída de voltaje en el diodo D1, y se queda cargado.

Una vez disparado el SCR e iniciada la descarga del capacitor, se produce una caída de voltaje entre ánodo y cátodo en el SCR que es de aproximadamente 1V lo cual es insignificante en comparación con el voltaje que maneja el capacitor y por lo tanto puede ser despreciado.

Esto significa que la energía disipada por la bobina de encendido es la misma que almacena el capacitor.

La energía mínima que se requiere para formar una chispa adecuada es de 20mJ, por lo cual, de la ecuación 51:

$$w = \frac{1}{2} CV^2$$

$$0.02 = \frac{1}{2} C * 408^2$$

$$C = 0.24\mu F$$

Este es el valor que se requiere para obtener al menos la chispa adecuada, sin embargo, el aumentar la capacitancia hará que ésta incremente su intensidad mejorando así la capacidad de encendido de la mezcla.

A pesar de esto, no se debe incrementar dicha capacitancia a valores muy elevados, puesto que el exceso de energía sobrecarga la bobina de encendido y aumenta el tiempo de descarga lo que producirá un efecto contrario al esperado disminuyendo la calidad de la chispa.

Los valores más comunes de capacitancia para este tipo de topología están entre  $1\mu\text{F}$  y  $2\mu\text{F}$ , sin embargo, en ciertos casos el valor de  $2\mu\text{F}$  suele causar problemas en el tiempo de descarga, por lo que para garantizar un buen encendido se elige el valor de  $1\mu\text{F}$ .

Dentro del rango de capacitancia y voltaje que debe manejar este dispositivo, se puede utilizar capacitores de tántalo, electrolíticos o cerámicos, teniendo en cuenta la polaridad en los dos primeros.

Debido a disponibilidad en el mercado, a la calidad del elemento y los datos proporcionados por el ECG-NTE se opta por elegir el de la tabla 19:

**Tabla 19.**  
**Características del capacitor.**

Código	CBB22 105J630V
Tipo	Cerámico
Capacitancia	$1\mu\text{F}$
Voltaje de operación	400V
Energía máxima	83mJ

De ser necesario se puede utilizar valores de voltaje de operación menores sin sobrepasar el 50%, sin embargo, la vida útil del elemento se verá reducida en relación con la del porcentaje de disminución.

Para obtener una carga de 99.3% se necesita de un periodo igual a cinco veces la constante de tiempo; la resistencia para este caso es la del diodo a máxima carga, esto es, de la ecuación 53:

$$T = 5RC$$

$$T = 5 * \frac{408}{2.17} * 1$$

$$T = 940.09\mu s$$

El tiempo de descarga es similar, pero se reemplaza la resistencia de carga por la que posee el devanado primario de la bobina de encendido de la siguiente forma:

$$T = 5RC$$

$$T = 5 * 0.45 * 1$$

$$T = 2.25\mu s$$

Como se observa, en ambos casos el tiempo es mucho menor que los 6.67ms que se mencionó anteriormente como tiempo para dar una revolución a máximas rpm, por lo que el valor de capacitancia elegido se prueba como adecuado.

El SCR requiere soportar un mínimo de 2.16A y 400V entre ánodo y cátodo que es lo que puede suministrar el magneto y el capacitor.

Consultando el ECG-NTE y los elementos disponibles en el mercado local se elige el mostrado en la tabla 20:

**Tabla 20.**  
**Características del SCR.**

Tipo	BT152-600R
Voltaje directo	650V
Corriente de estado	13 <sup>a</sup>
Corriente rms	20 <sup>a</sup>
Corriente de compuerta	32mA
Voltaje inverso	650V
Velocidad de disparo	200A/ $\mu$ s

De la misma forma, los diodos deben ser capaces de soportar la carga de voltaje y corriente y responder a la velocidad adecuada.

Para este caso el ECG-NTE y los elementos en el mercado nacional indican la siguiente elección, en la tabla 21:

**Tabla 21.**  
**Características de los diodos.**

Tipo	1N5406
Voltaje directo	600V
Corriente rectificadora	3 <sup>a</sup>
Corriente inversa	100 $\mu$ A
Voltaje inverso	420V

Con estos elementos se simula el circuito utilizando el software EDA Multisim, que es el más avanzado software de simulación SPICE para simulaciones de circuitos analógicos; se utiliza este software para esta sección del circuito ya que aparte del control de disparo, el mismo es enteramente análogo.

La señal de alimentación del magneto y de disparo del tiristor son simuladas por fuentes de voltaje tal como se observa en la figura, mientras que la salida hacia la bobina de encendido es simulada a través de transformador elevador.

Para calibrar la fuente de alimentación y la señal de disparo en la simulación es necesario convertir la velocidad de giro del motor a frecuencia utilizando el valor de conversión:

$$1\text{Hz} = 60\text{rpm}$$

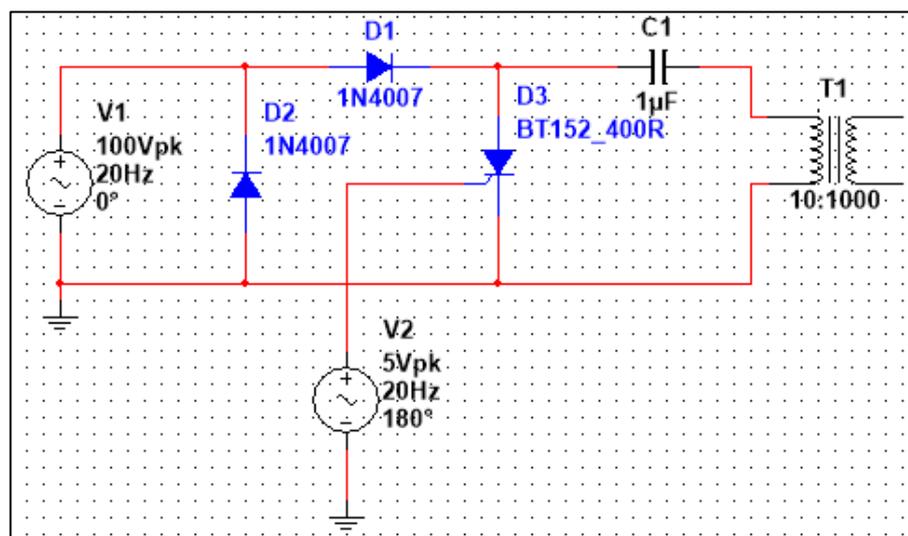
Tomando en cuenta que los límites de velocidad en estado estable son 1200rpm para el mínimo y 10000rpm para el máximo se procede a obtener los valores correspondientes de frecuencia iniciando con el menor de la siguiente forma:

$$f_{\text{mín}} = 1200\text{rpm} * \frac{1\text{Hz}}{60\text{rpm}}$$

$$f_{\text{mín}} = 20\text{Hz}$$

Además de esto se tiene que el disparo del SCR debe ocurrir a igual frecuencia y al menos 180 grados eléctricos después del inicio de la señal de alimentación para que se garantice el completo cargado del capacitor.

Con todo esto se tiene el siguiente circuito, de la figura 31:



**Figura 31. Circuito configurado a 1200rpm.**

El oscilograma simulado para las señales de entrada marcada en rojo y de salida marcada en azul es el siguiente:

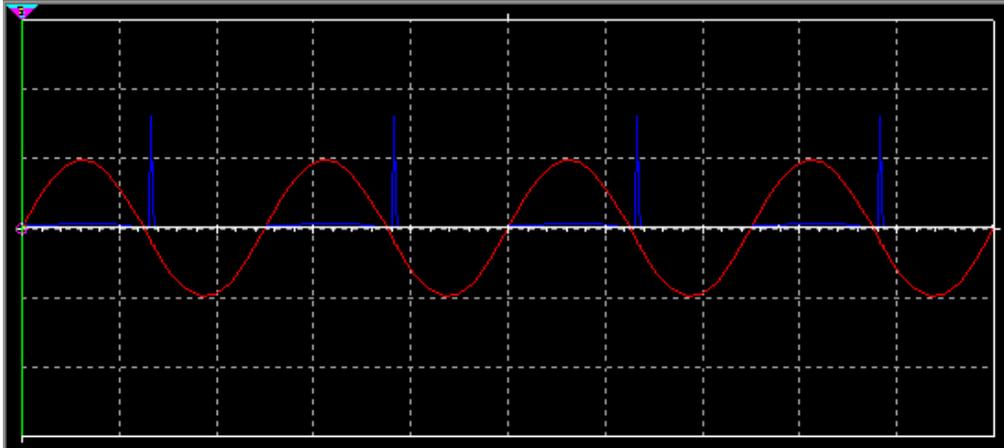


Figura 32. Oscilograma simulado para el circuito a 1200rpm.

Para el límite superior se tiene que:

$$f_{mín} = 10000rpm * \frac{1Hz}{60rpm}$$

$$f_{mín} = 166.67Hz$$

Al igual que en el caso anterior el desfase ocurre a 180 grados eléctricos a la misma frecuencia teniendo el siguiente circuito:

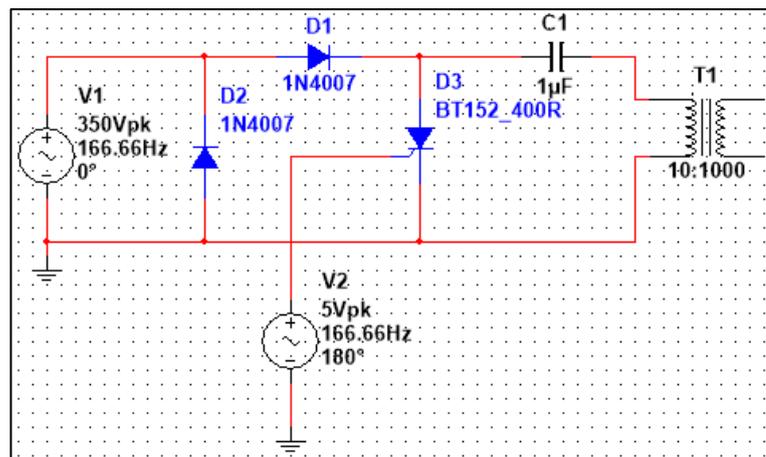


Figura 33. Circuito configurado a 10000rpm.

El oscilograma para este circuito, utilizando el mismo código de colores para las señales de entrada y de disparo, es el que sigue:

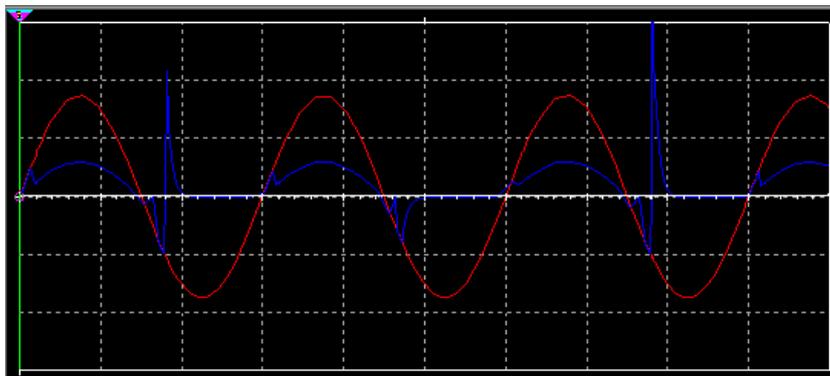


Figura 34. Oscilograma simulado para el circuito a 10000rpm.

Los cálculos del driver de la bobina de encendido se resumen en la tabla 22:

**Tabla 22.**  
**Selección de la bobina de encendido.**

Variable	Ecuación	Valor
Capacitancia (Capacitor de alto voltaje)	$w = \frac{1}{2} CV^2$	$0.24\mu F$
Tiempo de carga	$T = 5RC$	$940.09\mu s$
Tiempo de descarga	$T = 5RC$	$2.25\mu s$
Frecuencia mínima	$f_{\min} = 1200rpm * \frac{1Hz}{60rpm}$	$20Hz$
Frecuencia máxima	$f_{\min} = 10000rpm * \frac{1Hz}{60rpm}$	$166.67Hz$

### 3.5. Diseño del algoritmo de programación

Para que el módulo de control pueda funcionar correctamente, es necesario que el microcontrolador reciba la información de los sensores, las procese correctamente, calcule las acciones que debe realizar y envíe señales de encendido y apagado a los actuadores.

Es por esto que un correcto diseño del algoritmo de control es necesario, puesto que sin éste todo el diseño de hardware resulta ser poco útil o en el peor de los casos inservible.

A pesar de que el sistema trabaja en conjunto, el algoritmo de control se puede dividir en dos secciones plenamente diferenciadas:

- Control de la Inyección
- Control del encendido

Cada una de estas partes necesita una especial atención para el diseño, por lo cual se tratan en apartados diferentes.

### 3.5.1. Control de inyección por velocidad-densidad

Para elegir el sistema correcto de inyección es necesario realizar pruebas que permitan determinar el comportamiento del motor bajo las diferentes circunstancias ya que ambas estrategias tienen sus ventajas y desventajas.

Para la primera opción se utiliza el sistema velocidad-densidad y se recurre a la ecuación 50 del capítulo 2, con la cual se obtiene directamente el valor del ancho de pulso de la siguiente manera:

$$\text{Ancho de pulso} = \text{Periodo de ciclo} * \frac{EV * P * M * V_c * N'}{m_i * R_{ac} * R * T}$$

Donde se utilizan los siguientes valores, mostrados en la tabla 23:

**Tabla 23.**  
**Valores para el cálculo del ancho de pulso.**

Parámetro	Valor
<i>Periodo de ciclo</i>	$\frac{60}{RPM}$ (s)
<i>EV</i>	0.85
<i>P</i>	Leído desde el sensor (Pa)
<i>M</i>	28.97(g/mol)
<i>V<sub>c</sub></i>	0.0002(m <sup>3</sup> )

CONTINÚA



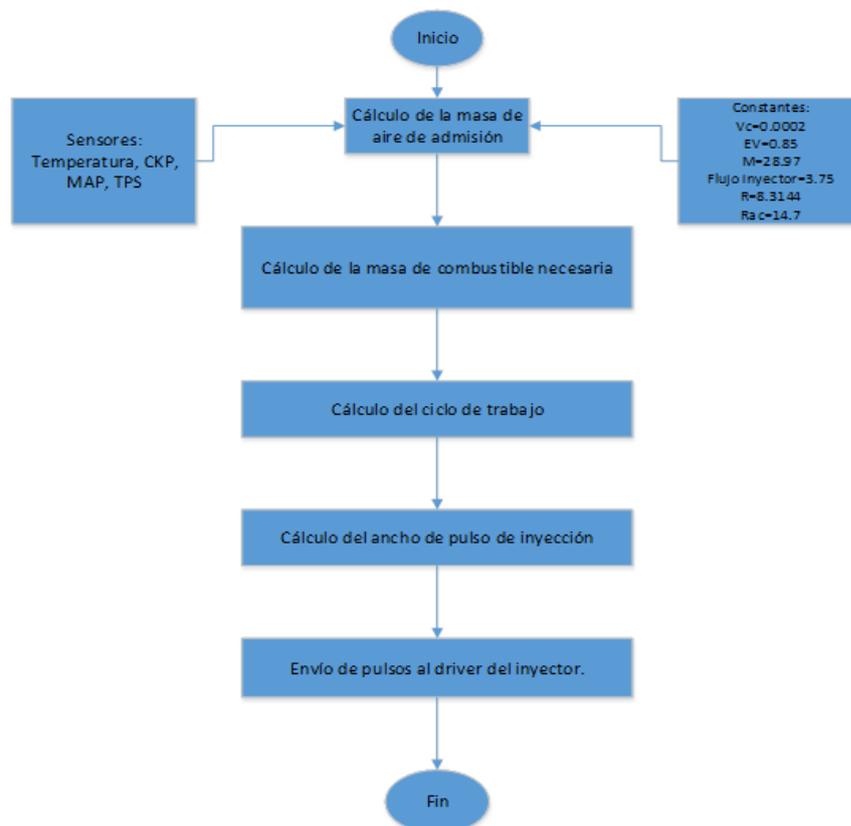
$N'$	$\frac{RPM}{120} (s^{-1})$
$m_i$	3.75(g/s)
$Rac$	14.7
$R$	8.3144(J/mol*K)
$T$	Leído desde el sensor (K)

Con lo que la ecuación final, reemplazando los datos y haciendo los despejes correspondientes, quedaría de la siguiente forma:

$$\text{Ancho de pulso} = \frac{0.0000107453 * P}{T} (s)$$

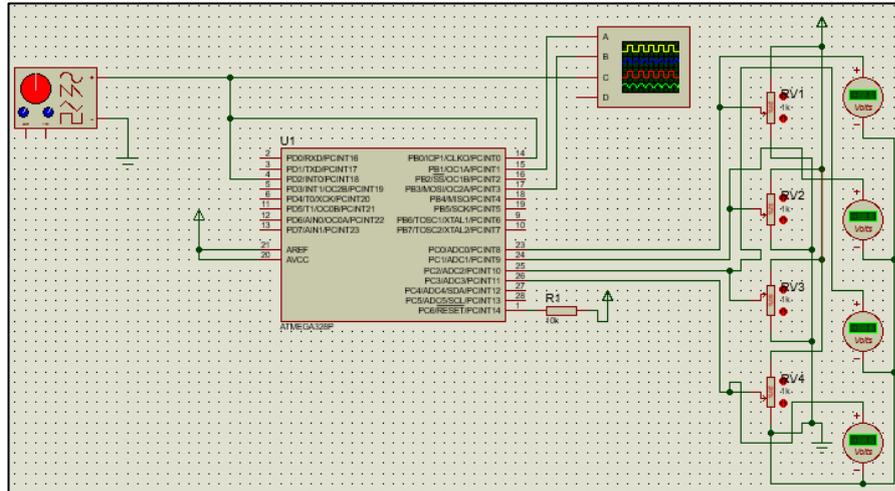
Con el ancho de pulso calculado, es posible establecer el algoritmo que debe ejecutar el microcontrolador para realizar su trabajo.

El diagrama de flujo para el algoritmo de inyección de combustible con este método es el siguiente:



**Figura 35. Algoritmo de control de inyección.**

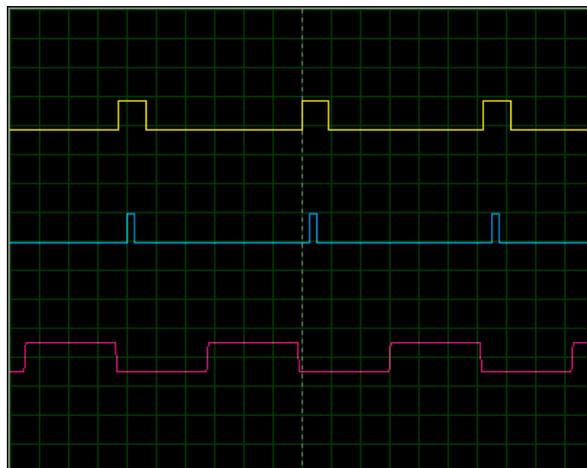
Al simular este circuito estos valores en el software EDA Proteus, que es el que brinda mayor fidelidad para en simulación de circuitos microcontrolados, se tiene lo siguiente:



**Figura 36. Circuito general utilizando la estrategia velocidad-densidad.**

En el circuito la señal del CKP es simulada a través de un generador de frecuencia ajustado para variar dentro de los rangos permisibles de régimen del motor.

Los sensores de temperatura, presión y posición del acelerador están simulados a través de potenciómetros conectados a una fuente de 5V cuya señal de salida es monitoreada a través de voltímetros digitales conectados a cada uno.



**Figura 37. Oscilograma de señales de entrada y salida con el sistema velocidad-densidad**

En el oscilograma se tiene las señales de salida al inyector en amarillo, a la bobina de encendido en azul y de entrada del pulser al microcontrolador.

La señal del pulser es la que da inicio a los disparos de salida utilizando el flanco de bajada de la misma además de permitir la lectura de la velocidad de giro del motor.

### 3.5.2. Control de inyección por Alfa-N

Para el sistema por Alfa-N se recurre a una combinación de interpolaciones de las rpm y la posición del acelerador utilizando el sensor de posición TPS.

Los límites de interpolación para la velocidad de giro del motor medidas en revoluciones por minuto o RPM son:

**Tabla 24.**  
**Límite de interpolación para las RPM**

Velocidad	RPM
Máximo	10000
Mínimo	1200

Se considera los límites de 2ms a 12ms expuestos en el capítulo 2, la ecuación en función de las rpm y en base a la interpolación lineal simple es:

$$X = \frac{12 - 2}{10000 - 1200} (RPM - 1200) + 2$$

Para el caso del TPS los límites de interpolación son los siguientes:

**Tabla 25.**  
**Límite de interpolación para el TPS**

Posición TPS	Voltaje
Máximo	0.55
Mínimo	3.25

Utilizando otra vez el tiempo de inyección y los límites del TPS se tiene que la ecuación para la posición del acelerador en función del voltaje de señal del sensor es:

$$Y = \frac{12 - 2}{3.25 - 0.55} (V - 0.55) + 2$$

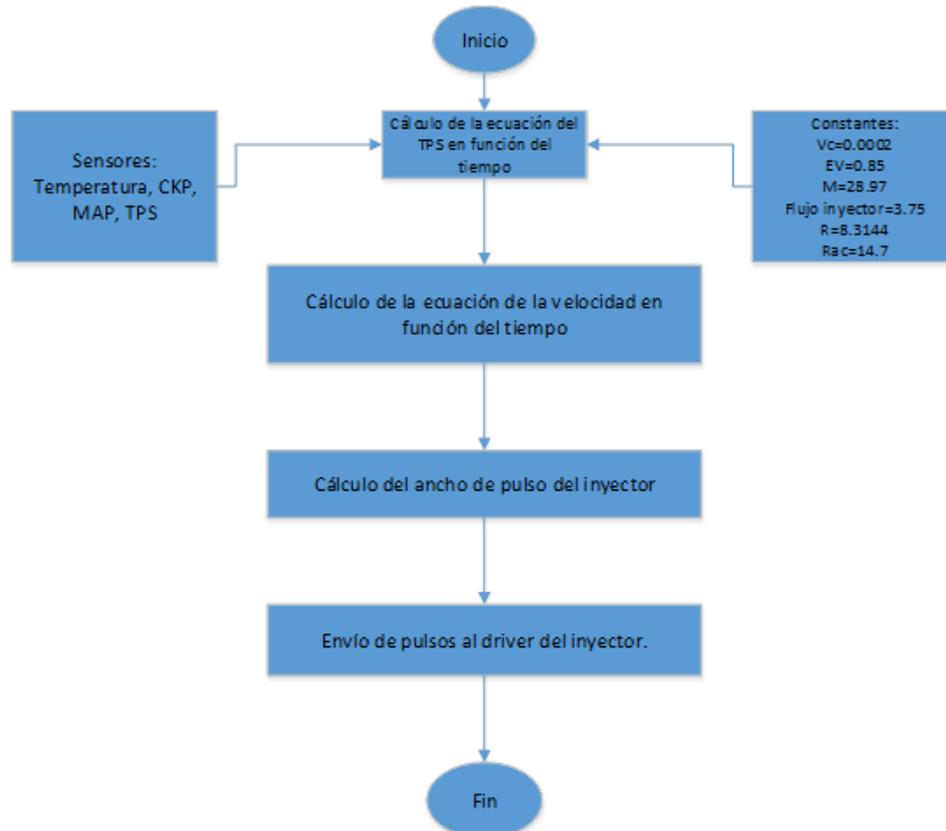
Combinando las ecuaciones de interpolación se tiene que la ecuación para el ancho de pulso de inyección es:

$$t = X * Y$$

$$t = \left( \frac{12 - 2}{10000 - 1200} (RPM - 1200) + 2 \right) \left( \frac{12 - 2}{3.25 - 0.55} (V - 0.55) + 2 \right)$$

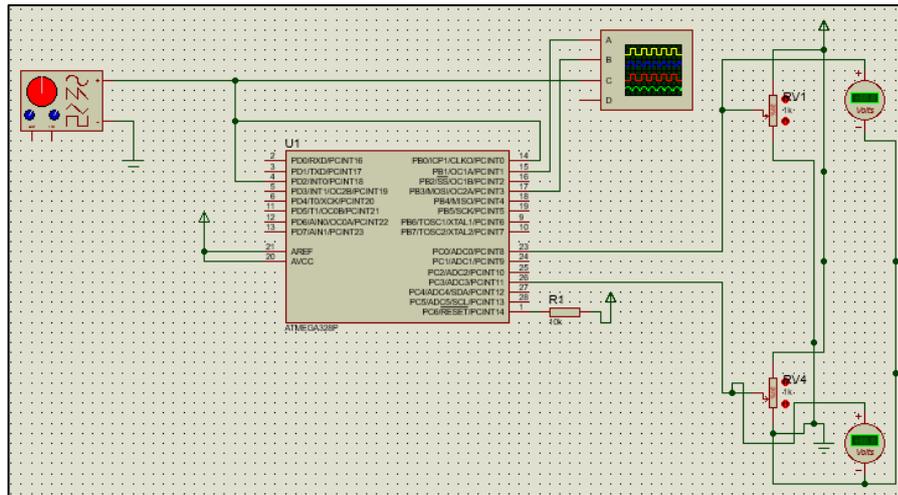
$$t = (0.001136RPM - 0.636)(3.703V + 4.037)$$

Utilizando esta ecuación el algoritmo de inyección, en la figura 38:



**Figura 38. Algoritmo para el sistema Alfa-N**

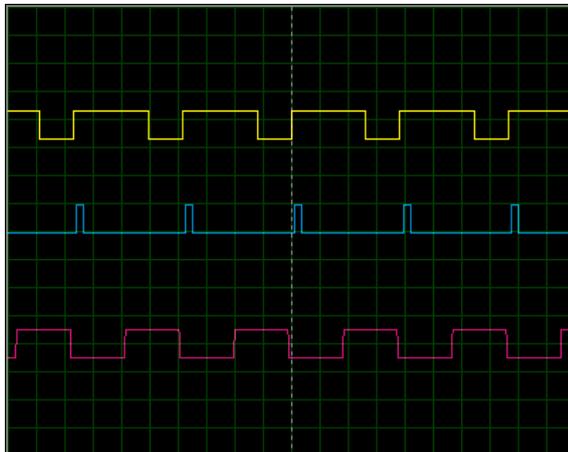
Utilizando Proteus para simular este sistema se muestra en la figura 39:



**Figura 39. Circuito general utilizando la estrategia Alfa-N.**

En este sistema se elimina la necesidad del sensor de temperatura del aire y de presión absoluta de admisión puesto que sus señales no son requeridas dentro del cálculo por lo cual el circuito se reduce.

El oscilograma para este sistema es el que se muestra en la figura 40:



**Figura 40. Oscilograma de señales de entrada y salida con el sistema Alfa-N.**

La codificación de colores y el orden de las señales es el mismo que en el caso del oscilograma del sistema velocidad-densidad.

### 3.5.3. Enriquecimientos

Existen ciertas instancias en las cuales es necesario enriquecer la mezcla puesto que las condiciones de funcionamiento o los requerimientos del conductor así lo estipulan

Por esta razón se establecen ciertas condiciones de funcionamiento bajo las cuales se incrementa el ancho de pulso para que ingrese más combustible al cilindro y se produzcan los cambios en desempeño que sean solicitados.

- Enriquecimiento en arranque

Actúa cuando el motor se enciende después de un largo periodo de reposo en el cual el motor se ha enfriado.

Añade un 25% al ancho de pulso mientras el motor alcanza la temperatura de funcionamiento, es decir, mientras la temperatura se encuentra por debajo de los 85°C.

Otro punto importante es que este se mantiene en dicho valor por al menos 5 minutos (suficiente para un motor monocilíndrico pequeño) para asegurar que la temperatura se ha estabilizado y luego se hace cero.

- Enriquecimiento en aceleración

Actúa en el momento de la aceleración, cuando el TPS envía la información sobre un cambio en la posición del estrangulador de admisión.

Aporta con un 30% al ancho de pulso mientras la velocidad del motor se encuentre por debajo de las 1000rpm, luego de lo cual empieza a descender en forma lineal hasta un 10% a 10000rpm.

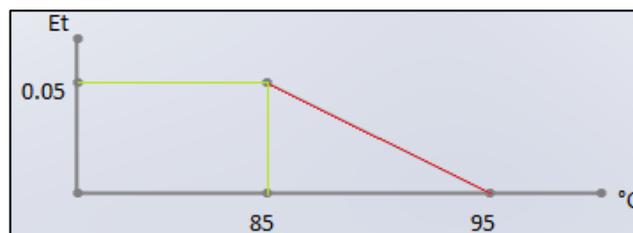


**Figura 41. Enriqecimiento por aceleración.**

- Enriqecimiento por temperatura

Actúa en forma lineal según la temperatura de funcionamiento del motor entre los límites de 85°C y 95°C.

Aporta un máximo de 5% a 85°C disminuyendo hasta 0% cuando se alcanza los 95°C.



**Figura 42. Enriqecimiento por temperatura**

### 3.5.4. Corte de inyección

Como medida de protección es necesario incorporar un corte de inyección para ciertas condiciones.

La primera limitante es la velocidad de giro del motor, para lo cual el pulso de inyección será interrumpido en el momento en que se supere las 10000rpm; una vez alcanzada esta condición, se requiere retornar a al menos 9500rpm para que se reactive la inyección.

Además, cuando la velocidad es muy baja como para que el motor se mantenga funcionando, se debe interrumpir igualmente la inyección para evitar que el combustible se acumule en el ducto o dentro del cilindro, para lo cual se restringe el límite inferior en 150rpm.

La segunda limitante es la temperatura del motor, la cual no debe superar ciertos límites; para este caso el corte de inyección debe ocurrir cuando se supere los 100°C y se reactiva cuando se ha enfriado hasta los 95°C.

Estas condiciones deben estar presentes como medida de resguardo para evitar que el motor sufra daños por mal uso o falla de algún sistema y se resumen en la tabla 26:

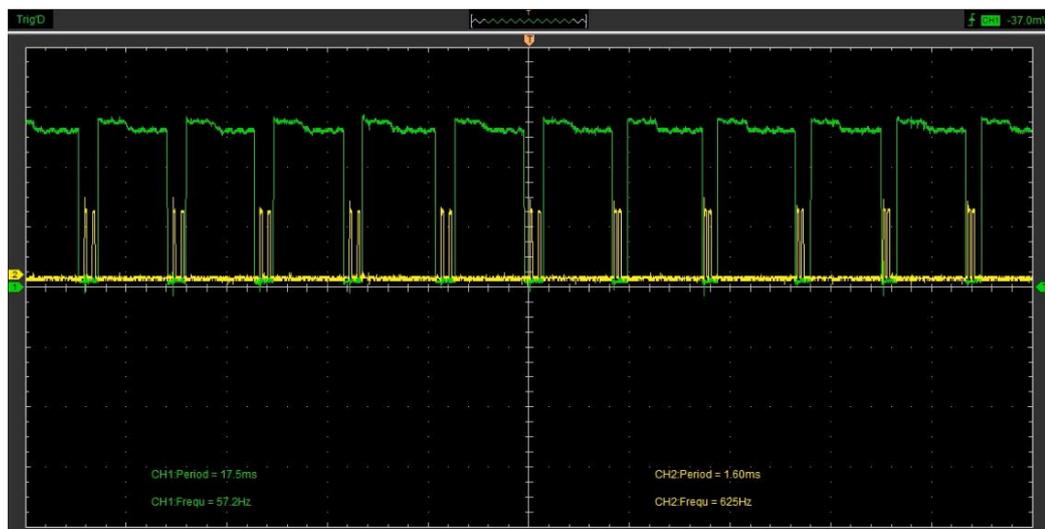
**Tabla 26.**  
**Condiciones de corte y restitución de inyección.**

Restricción	Valor de corte	Valor de restitución
Velocidad angular superior	10000rpm	9500rpm
Velocidad angular inferior	150rpm	600rpm
Temperatura	100°C	95°C

### 3.5.5. Selección del sistema de inyección

Una vez montado el sistema se carga los modelos de inyección en el microcontrolador para determinar cuál de ellos se comporta mejor para esta aplicación.

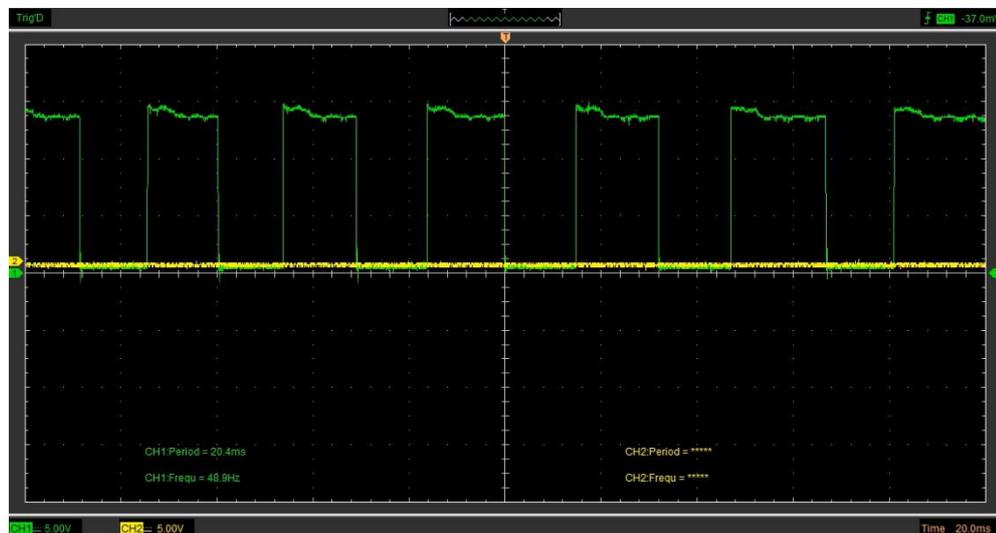
El primer sistema de inyección cargado es el velocidad-densidad teniendo el oscilograma de la figura 43:



**Figura 43. Oscilograma del pulso de inyección y encendido a 3432rpm.**

En la figura 43, se observa las señales de activación del inyector en color verde y de la bobina de encendido en color amarillo; las señales del oscilograma corresponden a la mínima posible al implementar este sistema, es decir que el motor se encuentra a ralentí.

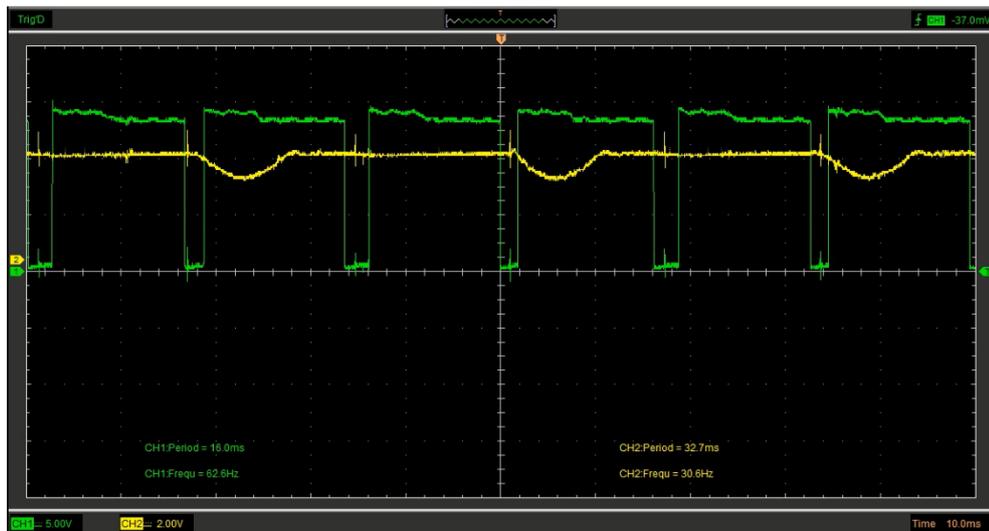
El pulso de inyección en este caso tiene una forma distinta a la que envía el microcontrolador, siendo la misma invertida debido a que en el circuito real, la posición de la punta del osciloscopio está en el pin de conexión a tierra del mismo puesto que es el único punto que permite obtener una lectura adecuada con la configuración del driver.



**Figura 44. Oscilograma de pulso de inyección a máxima inyección.**

En la figura 44, se puede observar la señal de inyección en color verde en su punto máximo, pero con apenas 48Hz de frecuencia, equivalentes a 2880rpm.

Esta baja velocidad de giro se debe a que la cantidad de combustible que está inyectando es excesiva para la carga de aire que ingresa lo que produce que la mezcla no se queme correctamente produciendo una disminución en el trabajo que puede realizar el motor.



**Figura 45. Oscilograma de pulso de inyección y señal del MAP.**

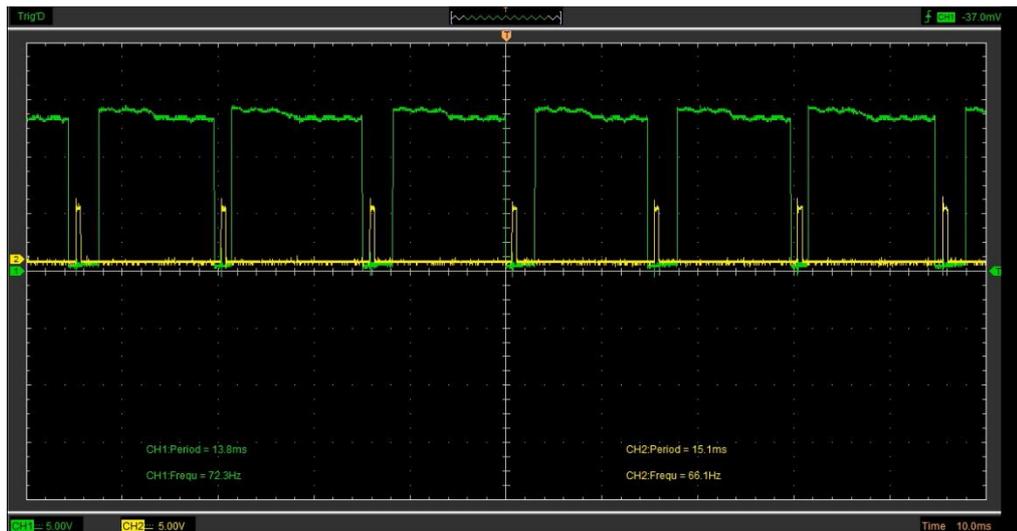
En la figura 45, se puede observar en verde la señal de inyección a una frecuencia de 62.6Hz equivalentes a 3756rpm y además la señal del MAP en amarillo.

El comportamiento del motor con este sistema es inestable con corte apagado a una velocidad cercana a las 4000rpm lo cual es resultado de una pobre sensibilidad del MAP a los cambios de presión en el ducto.

Esta baja variación de la medida de presión se debe al bajo flujo másico de aire de admisión ocasionado por la baja cilindrada del motor monocilíndrico.

Debido a que la presión de admisión influye directamente en el ancho de pulso, esta escasa variación no permite que éste cambie de forma significativa por lo que el motor no puede trabajar de forma estable o cambiar su régimen de giro según se requiera.

Por otro lado, para el sistema Alfa-N se tiene los siguientes resultados.



**Figura 46. Oscilograma de pulso de inyección y encendido para Alfa-N.**

En la figura 46, se observa la señal de inyección en verde y la de encendido en amarillo.

La frecuencia de oscilación en este caso es de 73.3Hz equivalentes a 4338rpm, lo cual supera a la medida del caso de velocidad-densidad.

El comportamiento de este sistema es mucho más estable a bajas y medias rpm, sin embargo, presenta problemas a partir de las 5500rpm, punto en el que se pierde la estabilidad, aunque puede alcanzar los 7100rpm manteniendo una aceleración prolongada y continua.

La falta de estabilidad al utilizar esta estrategia se debe a que las interpolaciones que intervienen en el cálculo del pulso de inyección son lineales mientras que el comportamiento real de un motor se aleja de forma considerable de la linealidad.

Para calibrar adecuadamente este modelo se requiere de pruebas exhaustivas en dinamómetro; sin embargo, es el más adecuado para poner en funcionamiento aceptable al motor de la motocicleta por lo que es el que se elige frente a los dos que se tiene.

### 3.5.6. Cálculo del ángulo de disparo de la bobina de encendido

Los métodos usuales para determinar la curva de adelanto al encendido son experimentales y requieren de varias pruebas en dinamómetro que permitan establecer el mejor punto de avance en cada punto de todo el rango disponible del régimen de velocidad de giro.

Otros métodos que resultan más accesibles requieren del uso de software especializado para el cálculo de estas variables y es este último método el que se utilizará en este caso puesto que es el que mejor se adapta a las condiciones de desarrollo del presente proyecto.

De entre los diferentes paquetes computacionales disponibles que permiten calcular el ángulo de disparo se recurre a MicroSquirt3, que es un software gratuito disponible en línea proporcionado por MicroSquirt en su página: <http://www.useasydocs.com/theory/spktable.htm>.

Para generar una tabla de valores se requiere de ciertos parámetros básicos de motor, los cuales se especifican en la tabla 27:

**Tabla 27.**  
**Características de la motocicleta**

Parámetro	Valor
Diámetro del cilindro	65.5mm
Carrera del pistón	59mm
Relación de compresión	9.25:1
Desplazamiento	198.8cc
Vació a ralentí	4.91psi

Estos valores se los ingresa en el software para generar la tabla, mostrados en la figura 47:

Cylinder Bore:	65.65	millimeters
Combustion Chamber Type:	2-valve closed chamber w/ optimized quench	
Fuel:	mid-grade (91 or 92 octane)	
Compression Ratio:	9.1:1 to 10.0:1	
Idle Vacuum:	10	in-Hg
Maximum boost level: (0 for naturally aspirated, max. boost (psi) for turbo/supercharged)	0	psi (21 psi maximum)
Maximum RPM:	10000	RPM
Idle RPM:	1200	RPM
Spark advance table dimensions:	8x8	<ul style="list-style-type: none"> <li>MS-I uses 8x8 tables;</li> <li>MS-II, MicroSquirt, and the Sequencer use 12x12 tables.</li> </ul>
Reset Form		
<b><u>E format:</u></b>		
Generate Advance Table		

**Figura 47. Captura de pantalla del software de adelanto al encendido con los datos ingresados.**

Una vez ingresados los datos se presiona el botón de generar la tabla de avance, produciendo el siguiente, en la figura 48:

```

13.0 10.0 30.4 37.6 37.6 37.6 37.6 37.6
13.0 10.0 29.7 36.8 36.8 36.8 36.8 36.8
13.0 10.0 29.1 36.0 36.0 36.0 36.0 36.0
13.0 10.0 28.4 35.1 35.1 35.1 35.1 35.1
13.0 10.0 27.7 34.3 34.3 34.3 34.3 34.3
13.0 10.0 27.0 33.4 33.4 33.4 33.4 33.4
5.0 10.0 26.4 32.6 32.6 32.6 32.6 32.6
5.0 10.0 25.7 31.8 31.8 31.8 31.8 31.8

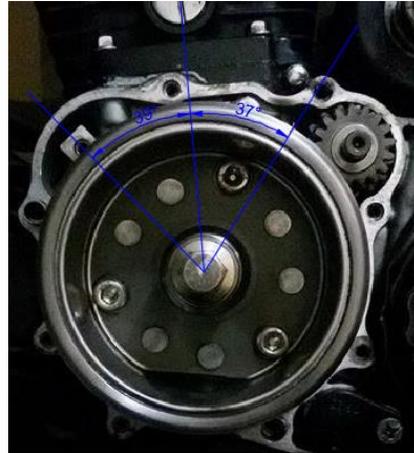
```

**Figura 48. Captura de pantalla de la tabla generada por el software.**

Como se aprecia, los valores van desde un mínimo de 5 grados hasta un máximo de 37.6 grados mecánicos.

Una vez obtenida la tabla, es necesario comparar con el máximo adelanto posible para motocicleta, lo cual puede ser observado en la

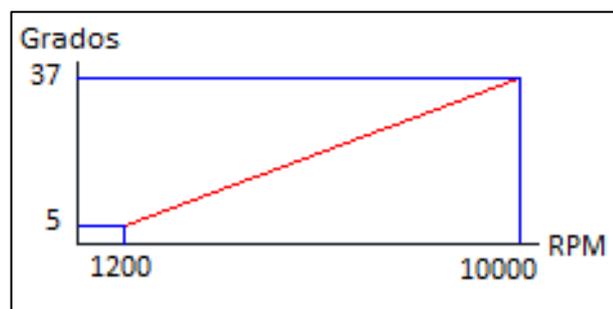
polea del cigüeñal ubicando el pistón en punto muerto superior como se observa en la figura 49.



**Figura 49. Esquema de ángulos respecto a punto muerto superior.**

Como se aprecia en la imagen, el máximo ángulo de adelanto es de 37°, por lo que la curva sólo podrá adelantarse a este valor, y si se compara con el valor generado por el software se verifica que sólo existe una variación de 0.6 grados, quedando comprobado que la curva de avance generada es adecuada.

Con los valores de la tabla se procede a graficar la curva de avance para poder ingresarla al algoritmo del microcontrolador, quedando de la siguiente manera, en la figura 50:

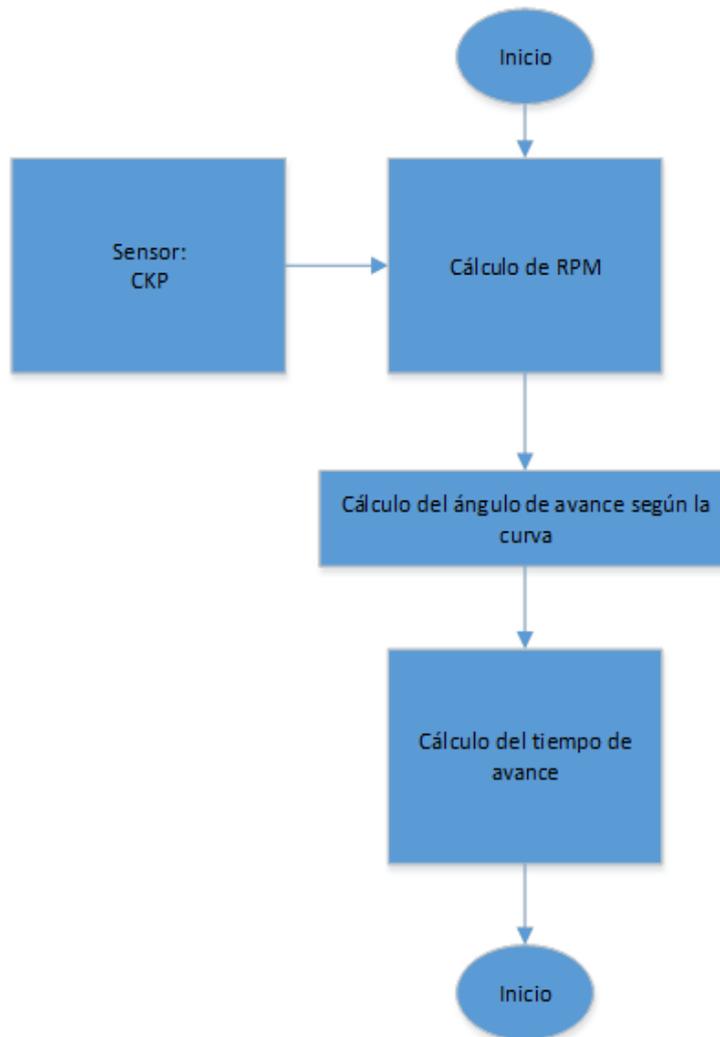


**Figura 50. Curva de avance al encendido.**

La curva de adelanto se obtiene a partir de la ecuación de esta recta y se define como sigue:

$$\theta = 0.00364 * RPM + 0.63636$$

Con esto el diagrama de flujo par el algoritmo de cálculo del adelanto al encendido mostrado en la figura 51:



**Figura 51. Algoritmo de control para el encendido.**

### 3.5.7. Diagrama de flujo del algoritmo general de control

El diagrama de flujo permite entender de manera rápida y sencilla las operaciones que tendrá que realizar el microcontrolador.

El diagrama general con el que contará el sistema se describe a continuación:

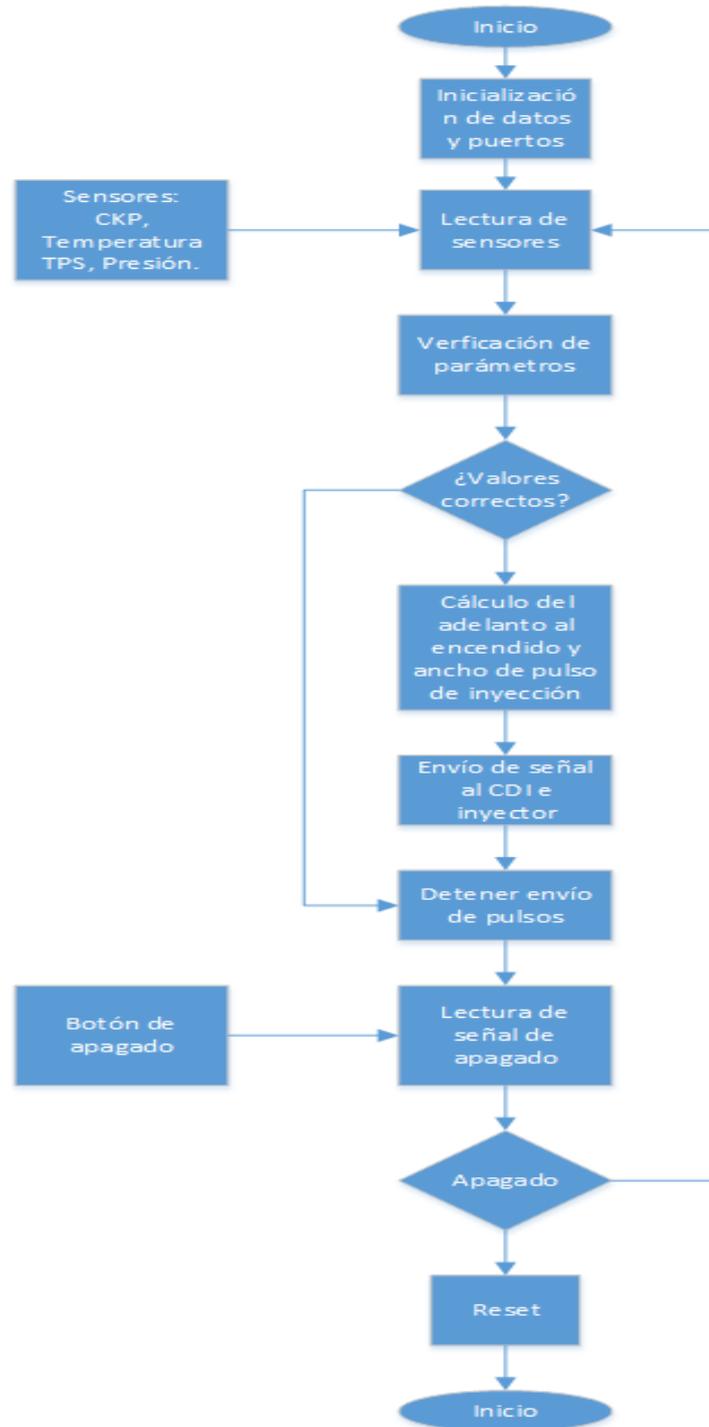
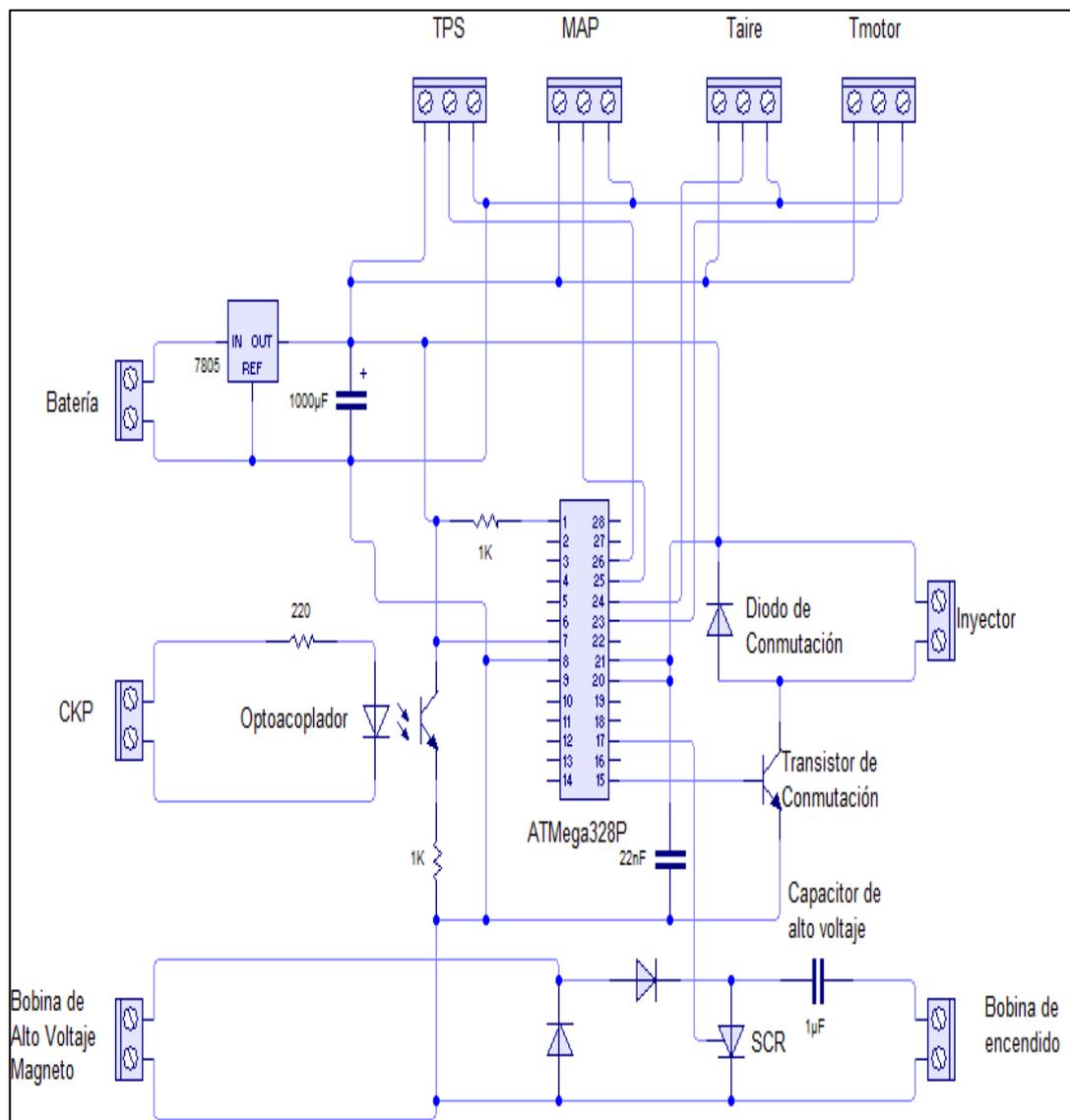


Figura 52. Diagrama de flujo del algoritmo general de control.

### 3.6. Placa de circuitos

Una vez diseñados, dimensionados, seleccionados y simulados todos los componentes del circuito, el siguiente paso es la elaboración de la placa que finalmente será montada en la motocicleta.

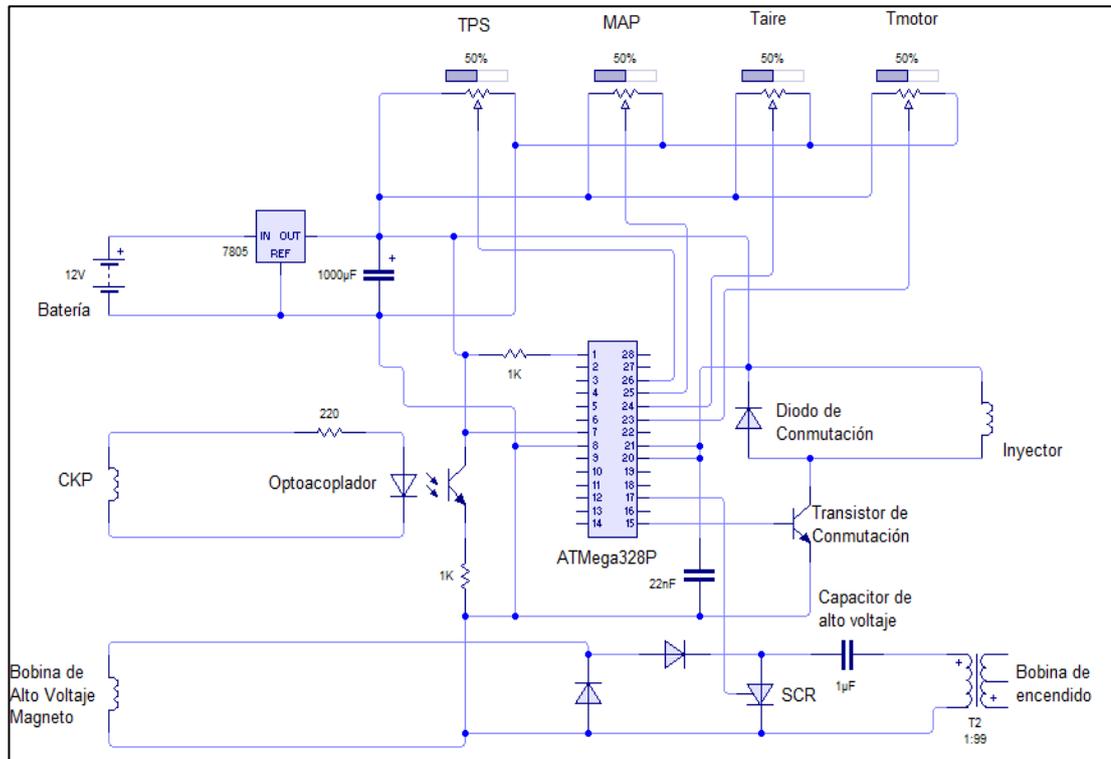
El primer paso es establecer un esquema general de todos los elementos y conexiones conforman el circuito. Dicho esquema se muestra en la figura 53:



**Figura 53. Esquema de circuito completo**

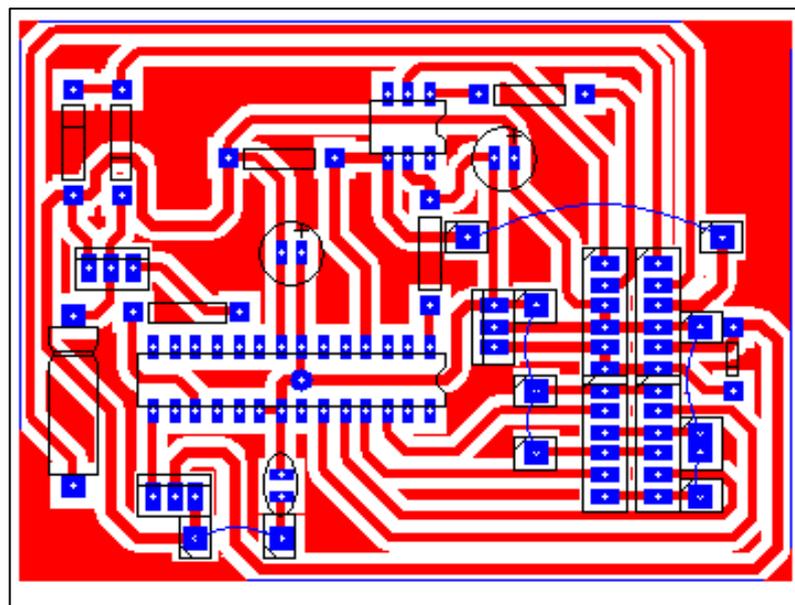
Una vez establecido el esquema, se procede a hacer el trazado de las pistas de interconexión. Este proceso se puede realizar de forma automática utilizando ciertos paquetes de software destinados para este propósito, sin embargo, es recomendable realizar el proceso de forma manual tanto como sea posible para controlar la ruta que seguirán las pistas, así como su correcto enlazado.

Considerando el esquema de circuito se tiene que el siguiente esquema de conexiones, en la figura 54:



**Figura 54. Esquema de conexiones del circuito completo.**

El acabado final de la placa es el que se muestra en la figura 55:



**Figura 55. Negativo de la placa de circuito impreso.**

Las líneas de conexión entre elementos están representadas por medio de las líneas rojas mientras que las grandes áreas de este mismo color son la malla a tierra de la placa.

Los puntos azules representan los puntos de contacto entre la pista de cobre y el elemento electrónico y las líneas delgadas del mismo color son las “líneas aéreas” o cables de conexión sobrepuestos que unen dos pistas que de otra forma estarían en circuito abierto.

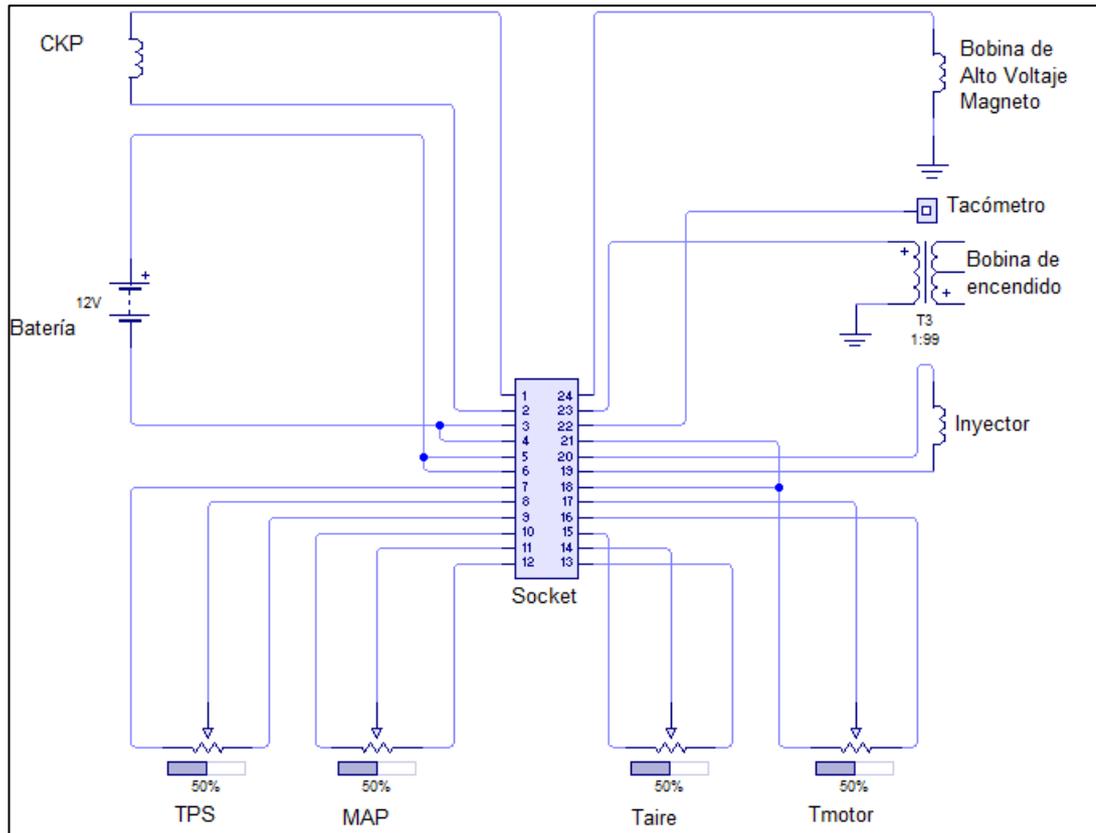
La placa cuenta con dos hileras terminales dispuestas de forma que permiten una rápida conexión y desconexión además de permitir cambiar de prototipo en caso de que la necesidad de hacerlo se presente.

Dichos terminales se encuentran dispuestos como en la figura 56:

<b>CKP</b>	<b>Señal +</b>	○	○	<b>HV in</b>	<b>Magneto</b>
	<b>Señal -</b>	○	○	<b>Bobina encendido</b>	
<b>Batería</b>	<b>GND</b>	○	○	<b>Tacómetro</b>	<b>Inyector</b>
	<b>GND</b>	○	○	<b>GND</b>	
	<b>+12V</b>	○	○	<b>Driver inyector</b>	
	<b>+12V</b>	○	○	<b>+12V</b>	
<b>TPS</b>	<b>+5V</b>	○	○	<b>+5V</b>	<b>Temperatura motor</b>
	<b>Señal</b>	○	○	<b>Señal</b>	
	<b>GND</b>	○	○	<b>GND</b>	
<b>MAP</b>	<b>+5V</b>	○	○	<b>+5V</b>	<b>Temperatura aire</b>
	<b>Señal</b>	○	○	<b>Señal</b>	
	<b>GND</b>	○	○	<b>GND</b>	

Figura 56. Esquema de pines de la hilera de terminales.

El diagrama de conexiones para el socket es el siguiente:



**Figura 57. Diagrama de conexiones del socket.**

Una vez diseñada la placa, se procede a la fabricación, Según la tabla 28:

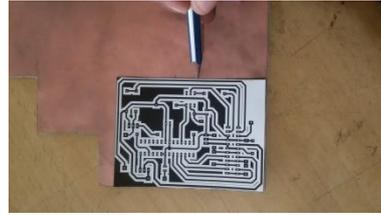
**Tabla 28. Proceso de elaboración de la placa de circuitos.**

Proceso	Imagen
Imprimir el circuito en una hoja de papel couche con la precaución de tener más de uno en la misma hoja por si llegase a ocurrir un daño	

CONTINÚA



Recortar el circuito y marcarlo sobre la fibra con cobre para cortarla.



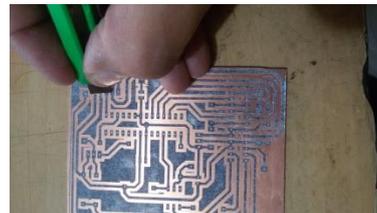
Cortar la placa a la medida marcada y limpiarla suavemente con un lustre de hilo fino para retirar cualquier rastro de impurezas.



Colocar la hoja con el circuito con la cara impresa hacia el cobre y aplicar presión con una plancha caliente hasta transferir la impresión a la placa.



Retirar suavemente el papel de forma que no se remueva el circuito de la placa; de ser necesario humedecer con agua para ablandar el papel y con un estilete quitar cualquier resto que haya quedado.



En un recipiente mezclar en partes iguales agua, agua oxigenada al 50% y ácido muriático.



En un lugar ventilado sumergir la placa por un tiempo de 3 a 5 minutos hasta que se haya removido todo el cobre que esté fuera de las pistas impresas.

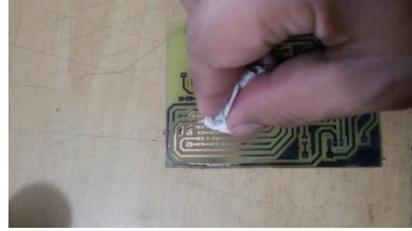


CONTINÚA



---

Retirar la placa, lavarla con agua y aplicar acetona con un lustre suave para dejar la superficie de cobre limpia.



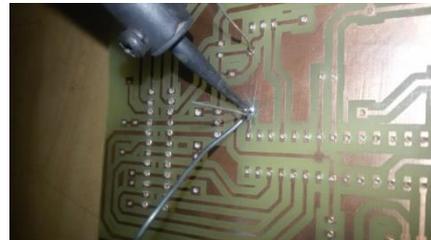
Con un taladro manual perforar los agujeros en los puntos indicados.



Colocar los elementos seleccionados en su posición indicada según el diagrama del circuito.

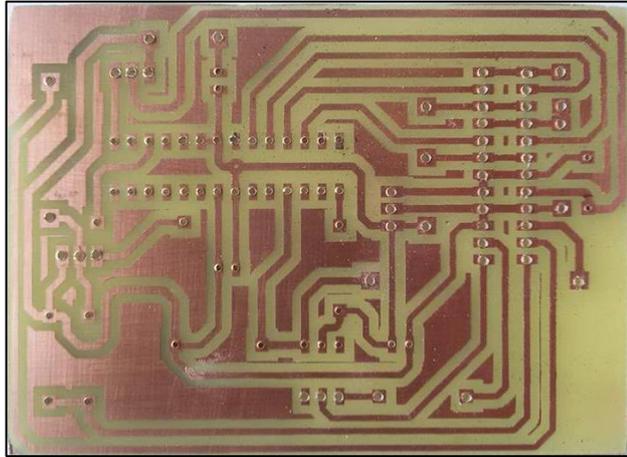


Con un cautín y estaño soldar el elemento a la pista de cobre.



Con una pinza de corte eliminar el exceso de material del elemento soldado.





**Figura 58. Placa impresa, quemada y perforada.**



**Figura 59. Placa terminada con los elementos montados.**

### **3.7. Protocolos de pruebas**

Para poder efectuar pruebas de funcionamiento de forma correcta, es necesario establecer los procedimientos que necesita cada uno de ellos; se realizará tres pruebas:

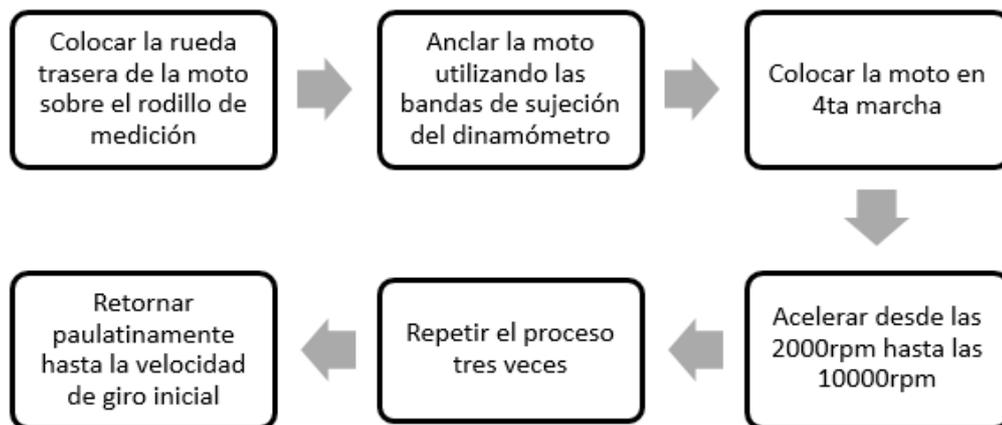
- Prueba en dinamómetro
- Análisis de gases
- Consumo de combustible

Para cada una de éstas se requiere definir correctamente los protocolos a seguir por lo cual cada uno de ellos se trata en un apartado diferente.

### 3.7.1. Protocolos de prueba en dinamómetro

El dinamómetro es un dispositivo que mide el torque y por medio de este determina la potencia del motor o vehículo que se esté ensayando.

Para este caso se utilizará un dinamómetro DYNOMite y el software DYNOMAX para la obtención de los datos siguiendo el proceso de acuerdo al manual de operación del mismo, el cual se detalla en el siguiente flujograma:



**Figura 60. Flujograma del protocolo de pruebas en dinamómetro.**

### 3.7.2. Protocolo de análisis de gases

Para el análisis de gases se utiliza la máquina BRAIN Bee en base a la norma NTE INEN 2 203:2000, siguiendo el siguiente flujograma:

1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos.</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el párrafo anterior la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralenti".</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralenti", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo.</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.</li> </ul>
13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.</li> </ul>

**Figura 61. Protocolo de análisis de gases según la norma NTE INEN 2 203:2000**

### **3.7.3. Protocolo de pruebas de consumo de combustible**

Para esta prueba se adapta la norma mexicana NOM-150-1979 para pruebas de combustible de vehículos de hasta 2727Kg, específicamente refiriéndose al apartado cinco del reglamento.

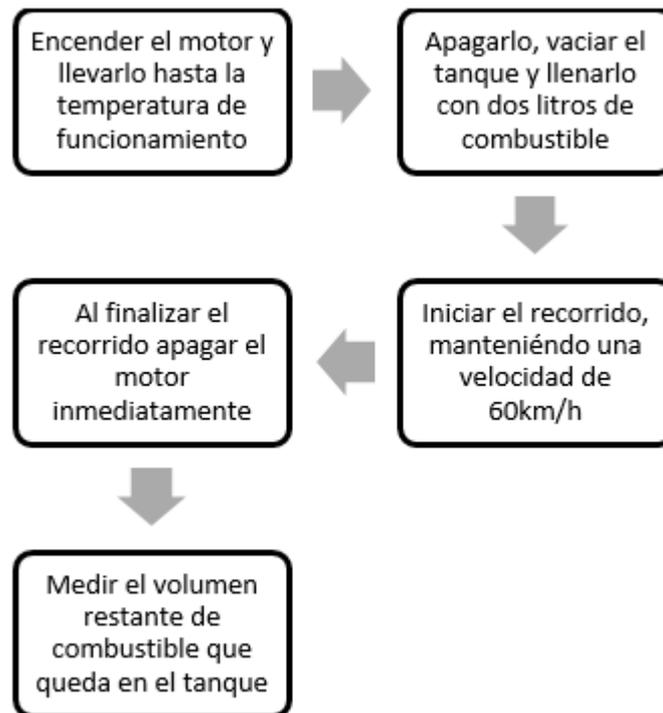
La prueba será realizada en la extensión de la Av. Simón Bolívar-Pomasqui en la ciudad de Quito; la selección de este tramo se debe a que es un trayecto amplio con pendientes muy poco pronunciadas; inicia en el redondel de Pomasqui y llega hasta el redondel de ciudad Bicentenario en donde regresa hasta el lugar de partida.

El recorrido tiene una longitud de 2.08km, medidos con ayuda de un GPS y la temperatura del motor será monitoreada en cada vuelta con ayuda de un termómetro láser.

La capacidad del tanque de combustible es de 14l según las especificaciones del fabricante. Las restricciones de la prueba según la norma son:

- Temperatura no superior a 25°C
- Trayecto completamente seco
- Realizar el recorrido de ida y vuelta
- Mantener una velocidad crucero de 90km/h

El proceso de la prueba se repite cuatro veces para tener un valor estadístico del consumo y se detalla a continuación:



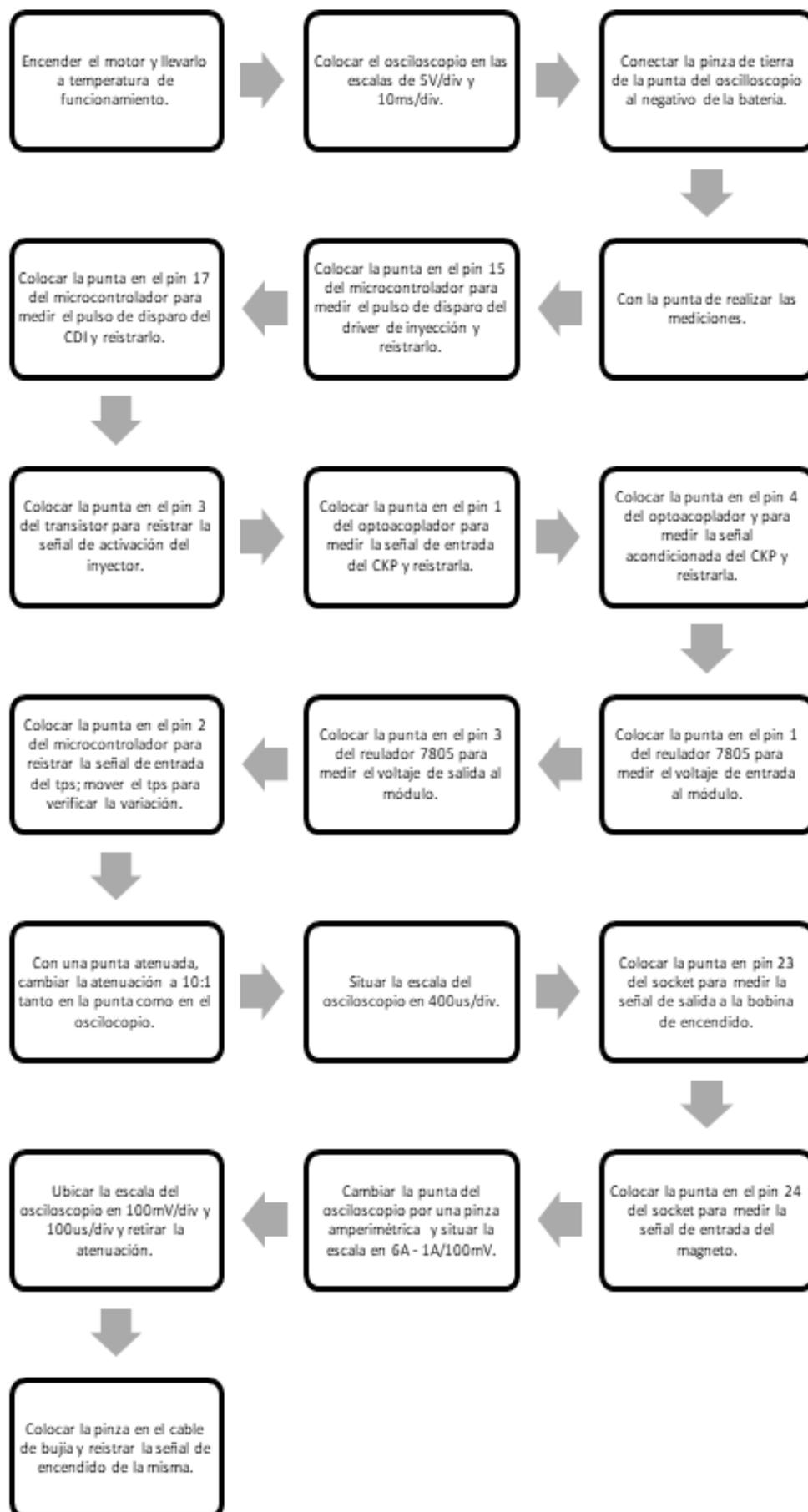
**Figura 62. Protocolo para la prueba de consumo de combustible**

#### **3.7.4. Protocolo de toma de señales**

La toma de señales es un procedimiento básico que permite conocer el comportamiento de cada parte del circuito brindando información precisa sobre lo que ocurre en cada sección del sistema.

Para la prueba se lleva al motor hasta la temperatura de funcionamiento para que todas las señales se estabilicen.

El proceso de prueba es el que se muestra a continuación:



**Figura 63. Protocolo de pruebas toma de señales.**

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los equipos que fueron utilizados en la investigación, son: el analizador de gases, dinamómetro, osciloscopio y probetas de medición.

El método está fundamentado en la norma NTE INEN 2 203:2000, para la determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralenti”. También se establece las tablas de datos con la información obtenida que permitió desarrollar el análisis y la comparación de estos.

#### 4.1. Equipos

Se detalla las especificaciones de los equipos empleados para las mediciones de: potencia y torque, gases, consumo de combustible.

##### 4.1.1. Motocicleta UM DSR 200

Para realizar las mediciones se utilizó una motocicleta UM DSR 200, con las siguientes características mostrado en la tabla 29:

**Tabla 29.**  
**Ficha técnica motocicleta UM DSR200**

<b>MODELO</b>	
Motor	4 T / OHV
Cilindrada	196.3 cc
Diámetro x carrera	67 x 55.7
Compresión	9,2:1
Refrigeración	Por aire
Encendido	CDI
Caja de velocidad	5 Cambios
Transmisión final	Cadena reforzada (428H)
Sistema de arranque	Eléctrico / Patada
Potencia máxima	14.5HP @ 8000 RPM

CONTINÚA



Llanta delantera	2.75 – 121
Llanta trasera	4.60 – 18
<b>DIMENSIONES</b>	
Longitud	2075 mm
Anchura	780 mm
Distancia entre ejes	1352 mm
Tanque de combustible	14 Litros (3.69 Gal)
Capacidad de aceite de motor	1.2 Litros (0.31 Gal)
Color	Negra con naranja

Fuente: UM global

#### 4.1.2. Dinamómetro

Se empleó el dinamómetro de rodillos de inercia de procedencia USA DYNO mite 4425 2WD 2EC-D Chassis Dyno #036-4425-5K, permite múltiples opciones de torque y potencia en estado dinámico dependiente de las RPM. El software que obtiene los datos de la aceleración angular del rodillo permite determinar los siguientes parámetros:

- Medición de la potencia dinámica, mas no de la estática.
- Simulación de velocidad, fuerza de tracción y revoluciones con carga constante.
- Obtención grafica con valores numéricos de los diagramas de potencia y torque.
- Mide la aceleración angular del rodillo por medio de sensores, y multiplica el valor por el momento de inercia del rodillo para obtener el torque. Otro sensor mide las RPM del rodillo y las multiplica por el torque para obtener la potencia.

**Tabla 30.**  
**Ficha técnica dinamómetro DYNO mite 4425 2WD 2EC-D**

Característica	Valor
Voltaje de operación	120V – 60Hz
Canales de adquisición	28
Velocidad de muestreo	1000 muestras/s

CONTINÚA



---

Tipo de comunicación	RS-232 y USB
Capacidad de potencia	530HP
Diámetro del rodillo de contacto	13"
Capacidad de carga	8000lb por eje
Ancho	133"
Largo	34"
Altura	18"

---

**Fuente:** [www.dynomitedynamometer.com](http://www.dynomitedynamometer.com)

Antes de realizar las pruebas se realizó las siguientes inspecciones visuales a la motocicleta:

- Inspección visual de posibles fugas de aceite del motor, líquido de frenos, y combustible.
- Determinar la localización de los puntos para la fijación de la motocicleta.
- Control de los niveles de aceite de motor y líquido de frenos.
- Verificación visual de daños en neumáticos, aros, presencia de anomalías que incidan en la medición.

Luego de realizar la inspección visual se precede con los siguientes pasos:

- Ubicar la motocicleta, como indica el fabricante del dinamómetro.
- Sujetar las cintas de seguridad a los puntos de fijación.



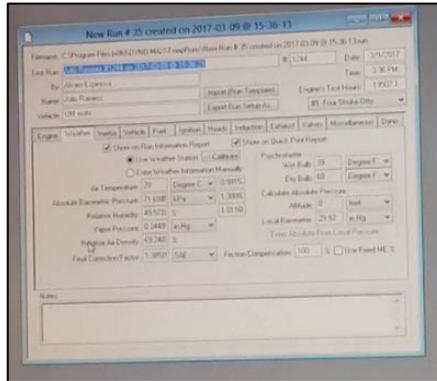
**Figura 64. Colocación cintas de seguridad para la prueba de Torque y potencia.**

- En la prueba de torque y potencia se debe controlar las Rpm del motor y la temperatura del mismo. Por lo que se debe subir en la motocicleta para acelerar y cambiar de marchas.
- Para poder controlar la temperatura del motor se coloca un ventilador automotriz, con el flujo en dirección hacia el motor de la motocicleta y evitar sobrecalentamiento.



**Figura 65. Ventilador para controlar la temperatura del motor.**

- Setear los datos en el dinamómetro con el diámetro de la rueda trasera y datos de la motocicleta para que el programa calcule la relación de transmisión final de la caja de cambio.



**Figura 66. Seteo de datos de la motocicleta.**

- Es muy importante colocar el diámetro de la rueda exacto, para el software pueda calcular la relación de transmisión final de la caja de cambios.
- Para la prueba de torque y potencia hay que controlar ciertos parámetros; se hizo desarrollar la moto hasta que alcanzar la cuarta marcha y llevarla al corte de combustible, para que el dinamómetro cense los datos necesarios para obtener la curva y resultados deseados.



**Figura 67. Ejecución de la medición de torque y potencia**

- Obtener a través del software del dinamómetro los datos y curvas deseadas.

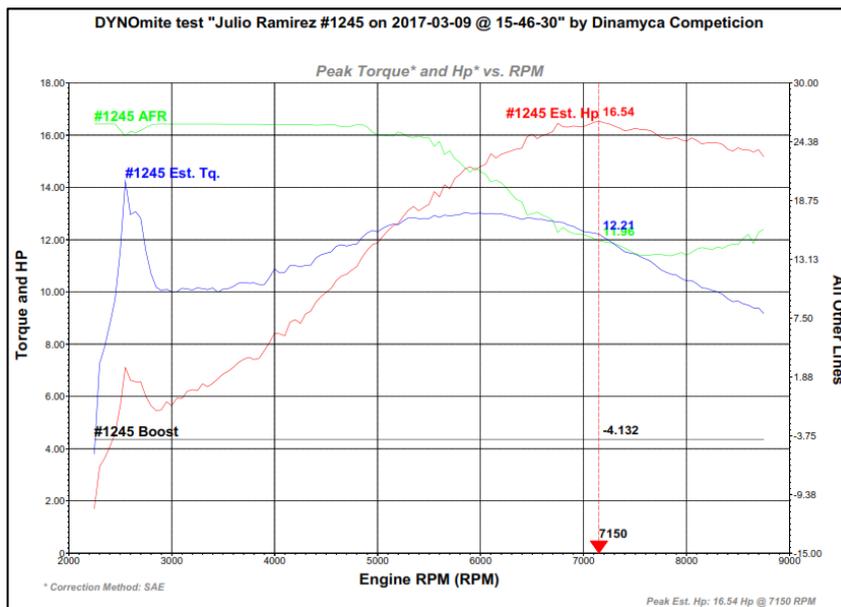


Figura 68. Resultados iniciales de la prueba

#### 4.1.3. Analizador de Gases CARTEK modelo 50-100

Este es un equipo el cual tiene combinado, opacímetro y analizador de gases con el cual se realiza la prueba de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”.

Tabla 31.  
Ficha técnica analizador de gases CARTEK

##### PARÁMETROS GENERALES

- Ignorar el valor de las RPM en las pruebas
- Mostrar medidores antes de realizar la inspección
- Validar solo información del vehículo
- Validar solo información básica del propietario
- Activar prueba de humos en gasolina

##### INFORMACIÓN DE LA PRUEBA DE GASES

	Cero automático	X
Condiciones generales	Realizar prueba de crucero	X
	Prueba de crucero primero que prueba de ralentí	X
	Tiempo de la prueba	20
Ralentí	RPM mínimas	500
	RPM máximas	1100

	Tiempo de la prueba	20
Crucero	RPM mínimas	2000
	RPM máximas	2750



**Figura 69. Analizador de gases-opacómetro CARTEK**

Para realizar la medición de gases en ralentí el procedimiento es el siguiente:

- Conectar el equipo a la toma de energía de 110VAC.
- Prender la interface de medición y el computador del analizador de gases.
- Ingresar y seleccionar en el programa banco de gases.



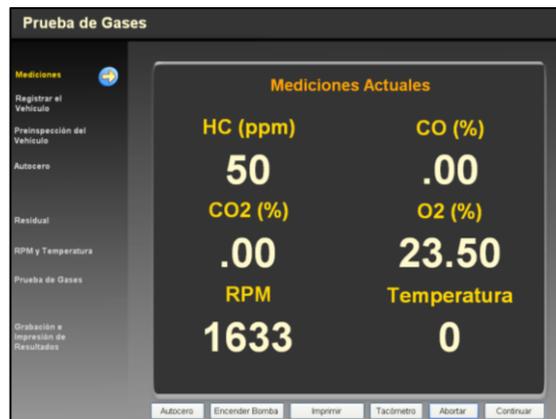
**Figura 70. Selección banco de gases.**

- Ingresar la información de la motocicleta en el sistema
- Conectar los cables del analizador al borne positivo y negativo de la batería respectivamente.



**Figura 71. Conexión medidor RPM a la batería.**

- Calibrar el equipo, verificar que existan lecturas iniciales en el analizador.



**Figura 72. Mediciones iniciales del analizador.**

- Ingresar la información de la motocicleta.

**Prueba de Gases**

Mediciones

Registrar el Vehículo

Preinspección del Vehículo

Autocero

Residual

RPM y Temperatura

Prueba de Gases

Grabación e impresión de Resultados

**Información del Vehículo**

Placa:     Número de motor:

Marca:     Número de Chasis:

Línea:     Combustible:

Modelo:     Cilindrada:

Servicio:     Kilometraje:

Clase:     Número Cilindros:

**Información del Propietario**

Identificación:     Ciudad:

Tipo de identificación:     Teléfono:

Nombre:

Apellidos:

Dirección:

Contacto:

Correo Electrónico:

**Figura 73. Registro del vehículo en el analizador.**

- Se realiza una pre inspección de la motocicleta y se pulsa en continuar en la interface del analizador.

**Prueba de Gases**

Mediciones

Registrar el Vehículo

Preinspección del Vehículo

Autocero

Datos de la Motocicleta

Residual

RPM y Temperatura

Prueba de Gases

Grabación e impresión de Resultados

Revise los siguientes aspectos de la moto antes de continuar con la inspección

Verificar el filtro de retención de Humedad

Verificar la sonda de muestreo

Verificar transmisión en neutro o la motocicleta se encuentre sobre el soporte central

Verificar choque del vehículo fuera de operación  Verificados

Verificar luces y accesorios del vehículo están apagados

Verificar el sistema de encendido

Verificar filtro de aire

Si se cumple alguna de las siguientes características, marque la casilla correspondiente. La prueba será rechazada.

Fugas en el tubo de escape

Fuga en el silenciador

Ausencia o mal estado del tapón de combustible

Ausencia o mal estado del tapón de aceite

Salidas adicionales a las del diseño

Presencia de humo Negro

Presencia de humo Azul

**Figura 74. Preinspección del vehículo.**

- Seguir las instrucciones del equipo para iniciar la prueba.



Figura 75. Instrucciones de la prueba de gases.

- Obtener y tabular los datos obtenidos.

#### 4.1.4. Osciloscopio

Se utilizó el osciloscopio USB portátil Hantek DSO-2250 para la obtención de las señales características del módulo de control electrónico de inyección y encendido diseñado.

**Tabla 32.**  
**Ficha técnica osciloscopio Hantek DSO-2250**

Modelo	DSO-2250 USB
Frecuencia de muestreo	250 MS/s (1 canal) 125 MS/s (2 canales)
Cantidad de canales	2
Ancho de banda	100 MHz
Resolución vertical	8 bit
Gain range	10 mV ~ 5 V/div con aumento x1 100 mV ~ 50 V/div con aumento x10 1 V ~ 500 V/div con aumento x100 10 V ~ 5 KV/div con aumento x1000
Ajuste por el vertical	sí
Modos de entrada	AC, DC, GND
Impedancia de entrada	1 MΩ
Precisión DC	±3%
Protección de entrada	diodo



---

Diapasones de desarrollos	4 ns/div ~ 1 h/div muestreo en el tiempo real: 4 ns - 400 ms/div roll mode: 1 s/div - 1 h/div
Tamaño del buffer	10 KB ~512 KB para el canal
<b>Funciones de Trigger</b>	
Modo de Trigger	Auto, Normal, Singular
Tipo de Trigger	edge trigger: rising edge, falling edge.
Recurso de Trigger	CH1, CH2, EXT
Ajustable nivel de Trigger	sí
Autoajuste	sí
<b>Funciones de medición</b>	
Cálculos automáticos	Vp-p, Vmax, Vmin, Vmean, Vrms, Vamp, Vhigh, Vlow, positive overshoot, negative overshoot, cycle mean, cycle rms, period, frequency, positive pulse width, negative pulse width, rise time (10%~90%), fall time (10%~90%), positive duty cycle, negative duty cycle
Cursor	Time/frequency difference, voltage difference
Funciones matemáticas	+, -, *, /
Análisis de FFT	Rectangular, Hanning, Hamming, Blackman Window
Interface	USB 2.0
Dimensiones, mm	190 x 100 x 35

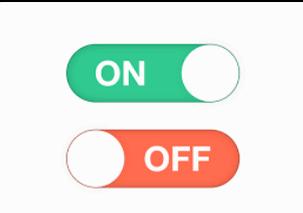
---

**Fuente:** <https://toolboom.com/>

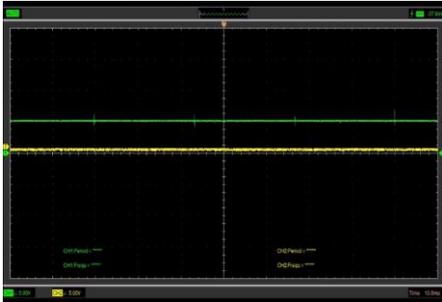
## 4.2. Señales características del módulo de control electrónico de inyección y encendido

Se obtuvo todas las señales características del módulo, mediante un procedimiento sencillo que permite determinar el comportamiento de cada elemento electrónico, brindando información importante de cada sección del sistema.

**Tabla 33.**  
**Proceso para obtener las señales del módulo de control electrónico.**

Paso	Descripción	Fotografía
1	Poner el switch en ON y poner en funcionamiento la motocicleta.	
2	Esperar que el motor de la motocicleta llegue a la temperatura adecuada de funcionamiento.	
3	Conectar el osciloscopio al computador e instalar las puntas en el canal 1 y canal 2.	

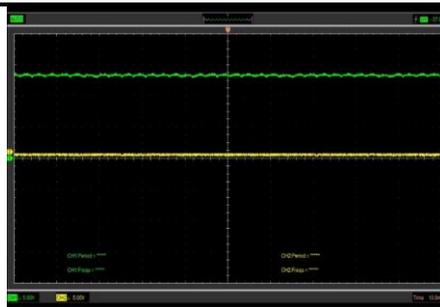
**Fuente de alimentación**

1	Colocar la punta del osciloscopio en el pin correspondiente según el diagrama de distribución de pines, y el lagarto a un punto de tierra en la motocicleta.	<table border="1"> <tr> <td>CKP</td> <td>Señal +</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>HV in</td> <td>Magneto</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Señal -</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Bobina encendido</td> <td>Bujía</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Bateria</td> <td>GND</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Tacómetro</td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>GND</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>GND</td> </tr> <tr> <td>+12V</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Driver inyector</td> <td rowspan="2">Inyector</td> </tr> <tr> <td>+12V</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>+12V</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">TPS</td> <td>+5V</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>+5V</td> <td rowspan="2">Temperatura motor</td> </tr> <tr> <td>Señal</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Señal</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">MAP</td> <td>GND</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>GND</td> <td rowspan="3">Temperatura aire</td> </tr> <tr> <td>+5V</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>+5V</td> </tr> <tr> <td>Señal</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Señal</td> </tr> </table>	CKP	Señal +	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HV in	Magneto		Señal -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bobina encendido	Bujía	Bateria	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tacómetro		GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND	+12V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Driver inyector	Inyector	+12V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+12V	TPS	+5V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+5V	Temperatura motor	Señal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Señal	MAP	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND	Temperatura aire	+5V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+5V	Señal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Señal
		CKP	Señal +	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HV in	Magneto																																																		
	Señal -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bobina encendido	Bujía																																																				
Bateria	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tacómetro																																																					
	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND																																																					
	+12V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Driver inyector	Inyector																																																				
	+12V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+12V																																																					
TPS	+5V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+5V	Temperatura motor																																																				
	Señal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Señal																																																					
MAP	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND	Temperatura aire																																																				
	+5V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+5V																																																					
	Señal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Señal																																																					
2	Obtener el oscilograma y la señal de 5v de alimentación para el microcontrolador.																																																								

CONTINUÁ



3 Obtener el oscilograma y la señal de 12v de alimentación de la batería.

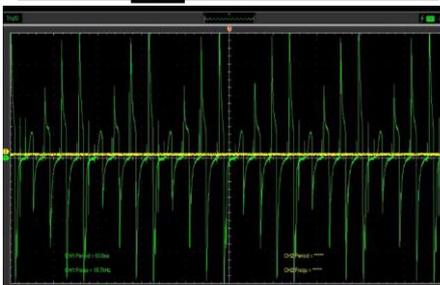


**Sensores**

1 Colocar la punta del osciloscopio en el pin correspondiente según el diagrama de distribución de pines, y el lagarto a un punto de tierra en la motocicleta.

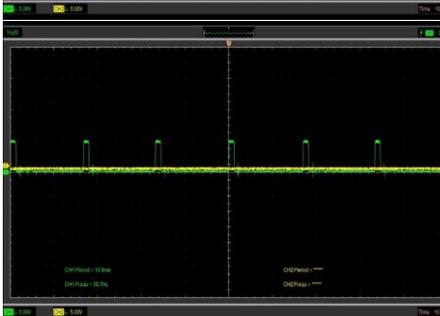
CKP	Señal +	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	HV In	Magneto
	Señal -	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Bobina encendido	Bujía
Bateria	GND	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tacómetro	
	GND	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	GND	
	+12V	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Driver inyector	Inyector
TPS	+12V	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	+12V	Temperatura motor
	+5V	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	+5V	
	Señal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Señal	
MAP	GND	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	GND	Temperatura aire
	+5V	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	+5V	
	Señal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Señal	

2 Obtener el oscilograma y la señal del CKP: Onda senoidal.



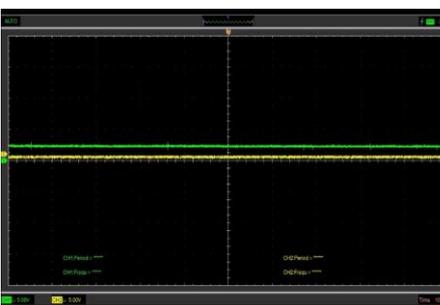
3 Obtener el oscilograma y la señal del CKP rectificado:
 

- Onda cuadrada.
- 0v – 5v.



4 Obtener el oscilograma y señal del TPS:
 

- 0.5v – 4.5v.
- Varía con el movimiento del acelerador



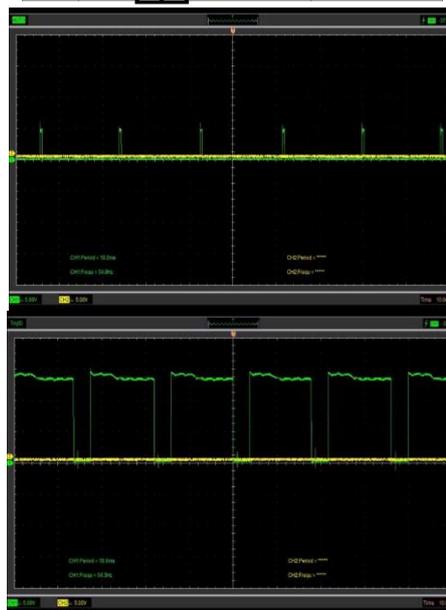
## Actuadores

- 1 Colocar la punta del osciloscopio en el pin correspondiente según el diagrama de distribución de pines, y el lagarto a un punto de tierra en la motocicleta.

- 2 Obtener el oscilograma y señal del pulso para la bobina de encendido:  
- 0v – 5v.

- 3 Obtener el oscilograma y señal del inyector:  
- 0v – 12v.

CKP	Señal +	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HV In	Magneto
	Señal -	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bobina encendido	Bujía
Bateria	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tacómetro	
	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND	
	+12V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Driver inyector	Inyector
	+12V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+12V	
TPS	+5V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+5V	Temperatura motor
	Señal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Señal	
MAP	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND	Temperatura aire
	+5V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	+5V	
	Señal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Señal	
	GND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GND	



### 4.3. Análisis de resultados de torque y potencia

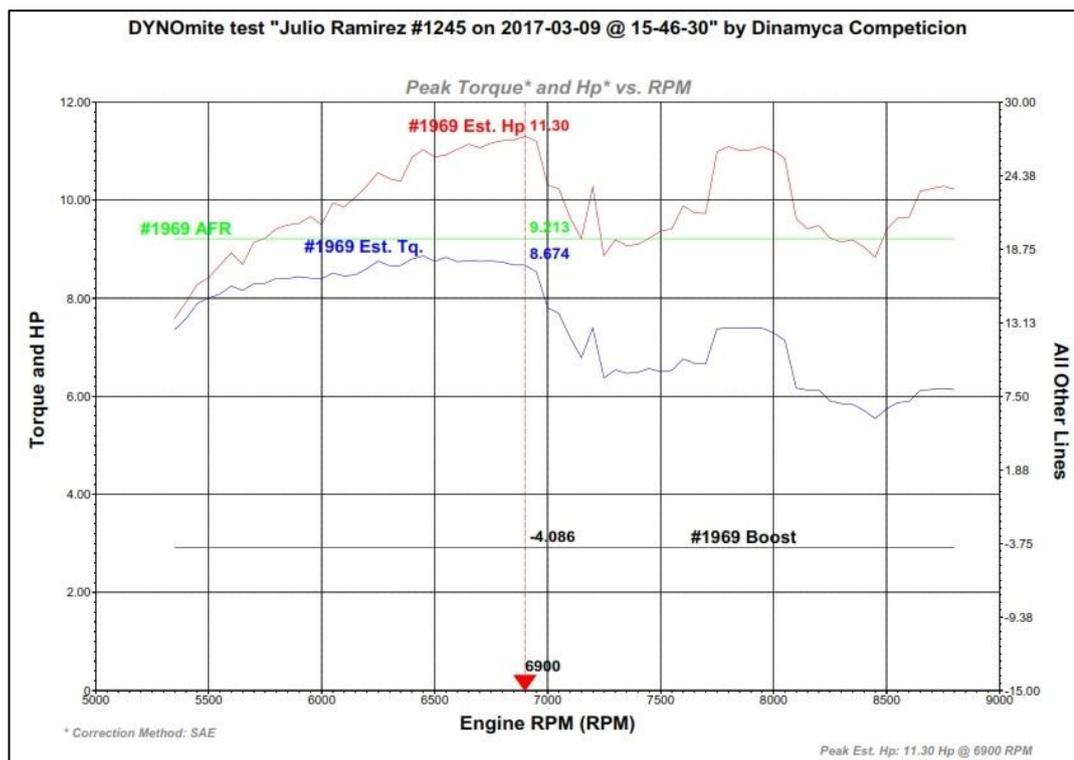
De las pruebas realizadas en el dinamómetro de la Empresa de potenciación y mantenimiento automotriz “Alvaro Dinamyca competición”, se obtuvieron los siguientes resultados de torque y potencia.

#### 4.3.1. Prueba en condiciones normales de funcionamiento

Esta prueba se realizó en la ciudad de Quito a 2600 metros sobre el nivel del mar y una presión atmosférica 739 hPa. Los parámetros y datos característicos obtenidos de la motocicleta UM DSR200 a condiciones mostradas en la tabla 34:

**Tabla 34.**  
**Prueba N°1 torque y potencia en condiciones normales con carburador**

RPM	Potencia I (HP)	Torque I (ft-lb)	RPM	Potencia I (HP)	Torque I (ft-lb)
2300	--	--	5600	8.922	8.245
2400	--	--	5700	9.134	8.294
2500	--	--	5800	9.414	8.404
2600	--	--	5900	9.520	8.436
2700	--	--	6000	9.500	8.396
2800	--	--	6100	9.857	8.450
2900	--	--	6200	10.29	8.598
3000	--	--	6300	10.43	8.660
3100	--	--	6400	10.87	<b>8.800</b>
3200	--	--	6500	10.88	8.749
3300	--	--	6600	11.04	8.744
3400	--	--	6700	11.07	8.749
3500	--	--	6800	11.21	8.733
3600	--	--	6900	<b>11.30</b>	8.674
3700	--	--	7000	10.31	7.804
3800	--	--	7100	9.635	7.196
3900	--	--	7200	10.27	7.392
4000	--	--	7300	9.193	6.533
4100	--	--	7400	9.097	6.485
4200	--	--	7500	9.367	6.497
4300	--	--	7600	9.880	6.761
4400	--	--	7700	9.728	6.660
4500	--	--	7800	11.09	7.391
4600	--	--	7900	11.02	7.393
4700	--	--	8000	11.00	7.289
4800	--	--	8100	9.622	6.167
4900	--	--	8200	9.480	6.131
5000	--	--	8300	9.146	5.845
5100	--	--	8400	9.044	5.710
5200	--	--	8500	9.396	5.742
5300	--	--	8600	9.652	5.889
5400	7.915	7.579	8700	10.23	6.136
5500	8.415	8.005	8800	10.22	6.132



**Figura 76. Prueba N°1 torque y potencia en condiciones normales con carburador**

En la tabla 76 se muestra los resultados de medición N°1 de torque y potencia, realizadas a la motocicleta UM DSR200 en condiciones estándar con el sistema de alimentación de combustible por carburador instalado.

Se puede observar en la curva del grafico torque y potencia que existe ciertas anomalías, esto es debido a que el embrague de la motocicleta es sensible al tacto, por lo que existe caídas de par al principio de la medición debido a que se manipula el embrague para que el motor no se apague.

De los resultados obtenidos de la prueba muestran que; la potencia máxima de la motocicleta a condiciones normales de funcionamiento se da a los 6900 rpm, con un valor de 11.30 hp. Así como también se puede apreciar que el torque máximo se da los 6400 rpm, con un valor de 8.80 ft-lb.

#### 4.3.2. Prueba con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado.

La prueba se realizó en la ciudad de Quito a 2600 metros sobre el nivel del mar y una presión atmosférica 739 hPa. Los parámetros y datos característicos obtenidos de la motocicleta UM DSR200 con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado, en la tabla 35:

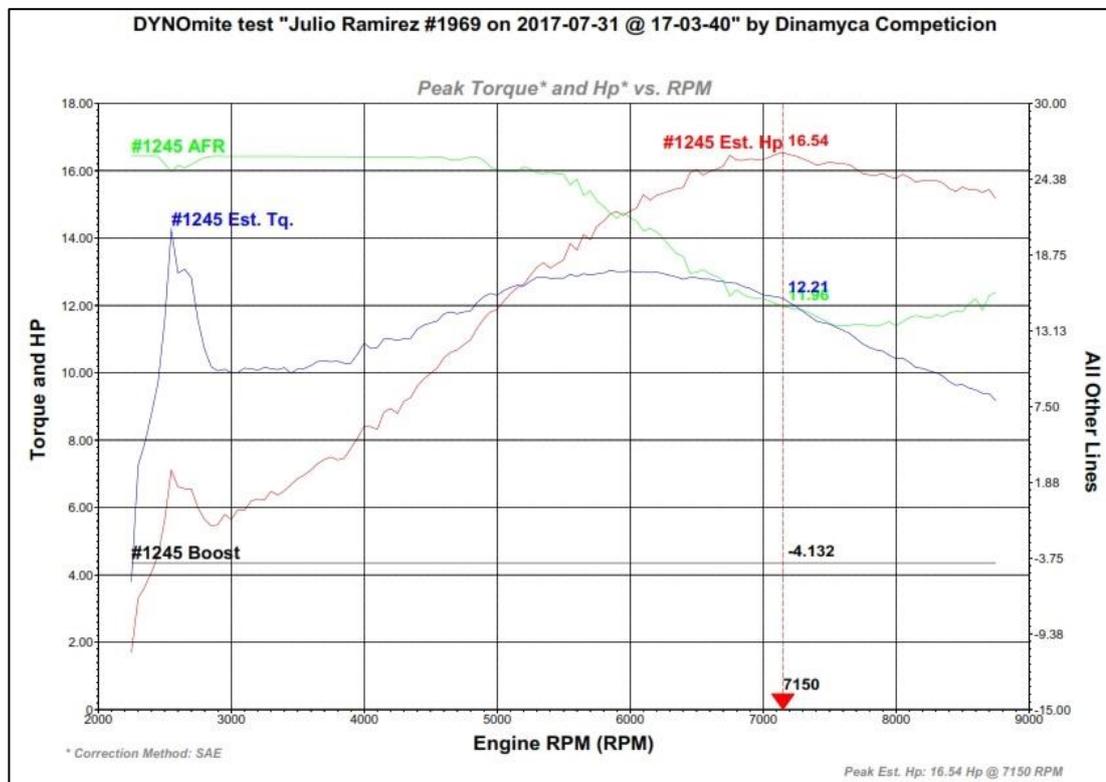
**Tabla 35.**  
**Prueba N°2 torque y potencia con el sistema de encendido e inyección electrónica**

RPM	Potencia C (HP)	Torque C (ft-lb)	RPM	Potencia C (HP)	Torque C (ft-lb)
2300	3,299	7,251	5600	13,63	12,85
2400	4,073	8,772	5700	13,94	12,9
2500	5,625	11,55	5800	14,49	12,96
2600	6,611	12,96	5900	14,78	13
2700	6,548	12,82	6000	14,8	13,01
2800	5,64	10,7	6100	15,28	13
2900	5,479	10,05	6200	15,26	12,98
3000	5,64	10	6300	15,39	12,89
3100	5,911	10,13	6400	15,49	12,77
3200	6,251	10,07	6500	16,03	12,81
3300	6,478	10,12	6600	15,98	12,77
3400	6,496	10,15	6700	16,13	12,7
3500	6,852	10,11	6800	16,31	12,66
3600	7,116	10,21	6900	16,35	12,5
3700	7,414	10,35	7000	16,33	12,31
3800	7,409	10,34	7100	16,49	12,25
3900	7,753	10,28	7200	16,47	12,08
4000	8,41	10,87	7300	16,35	11,82
4100	8,314	10,75	7400	16,16	11,53
4200	8,934	11	7500	16,26	11,45
4300	9,152	11,01	7600	16,2	11,26
4400	9,601	11,3	7700	16,05	11,01
4500	9,976	11,47	7800	15,87	10,75
4600	10,44	11,75	7900	15,91	10,64
4700	10,67	11,75	8000	15,77	10,42
4800	10,97	11,83	8100	15,79	10,3
4900	11,6	12,26	8200	15,71	10,13
5000	11,87	12,29	8300	15,7	10
5100	12,34	12,53	8400	15,46	9,731
5200	12,62	12,57	8500	15,51	9,648

CONTINÚA



5300	13,13	12,83	8600	15,44	9,49
5400	13,1	12,8	8700	15,44	9,382
5500	13,35	12,8			



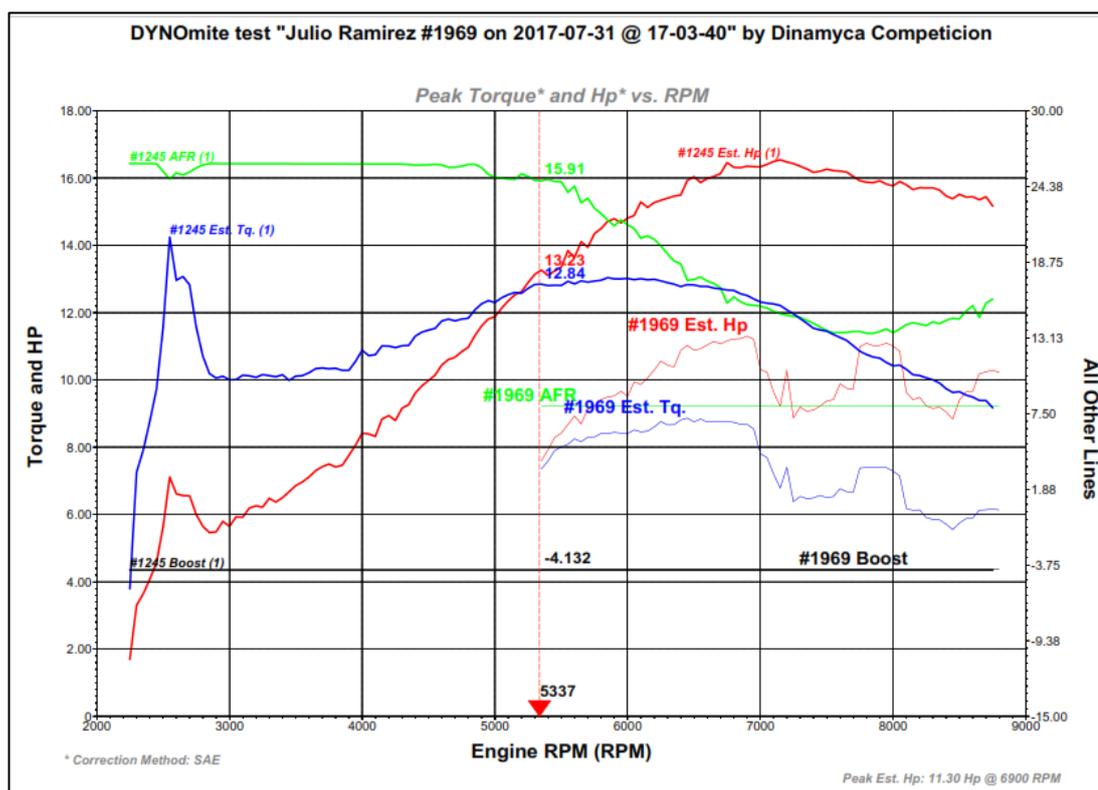
**Figura 77. Prueba N°2 torque y potencia con el sistema de encendido e inyección electrónica**

En la tabla 77 se muestran los resultados obtenidos de la medición de torque y potencia, realizadas a la motocicleta UM DSR200 con el sistema de encendido e inyección electrónica instalada.

Al igual que con la prueba inicial a condiciones normales se puede observar variaciones bruscas del par al inicio de la prueba. Además, se aprecia que la potencia máxima con el sistema instalado se da a los 7100 rpm, con un valor de 16.49 hp. Así también se puede observar que el torque máximo se da a los 6000 rpm, con un valor de 13.01 ft-lb.

### 4.3.3. Comparación de gráficos torque y potencia

Se realizó una comparación de los gráficos torque y potencia de las dos pruebas realizadas para determinar el comportamiento del sistema de encendido e inyección electrónica versus el sistema de alimentación de combustible por carburador.

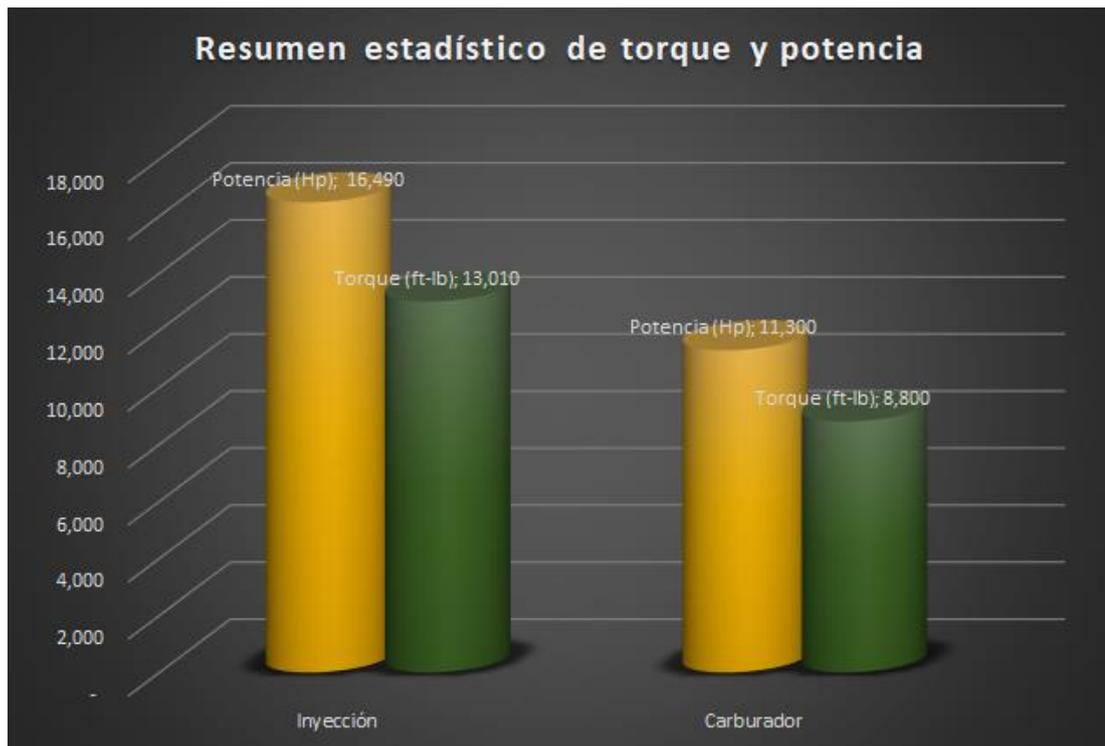


**Figura 78. Comparación de torque y potencia, del sistema encendido e inyección vs sistema por carburador**

Se realizó las pruebas y con los valores obtenidos se elaboró una tabla estadística de comportamiento del motor de la motocicleta UM DSR200 tomando los resultados promedios de torque y potencia, lo que permitió mirar la variación en porcentaje de los mismos.

**Tabla 36. Comparación de Torque y potencia.**

Valores	Carburador		Inyección	
	Potencia C (HP)	Torque C (ft-lb)	Potencia I (HP)	Torque I (ft-lb)
Medición	11.30	8.800	16.49	13.01
Porcentaje de variación	-31.47%	-32.36%	----	----



**Figura 79. Resumen de torque y potencia con carburador e inyección.**

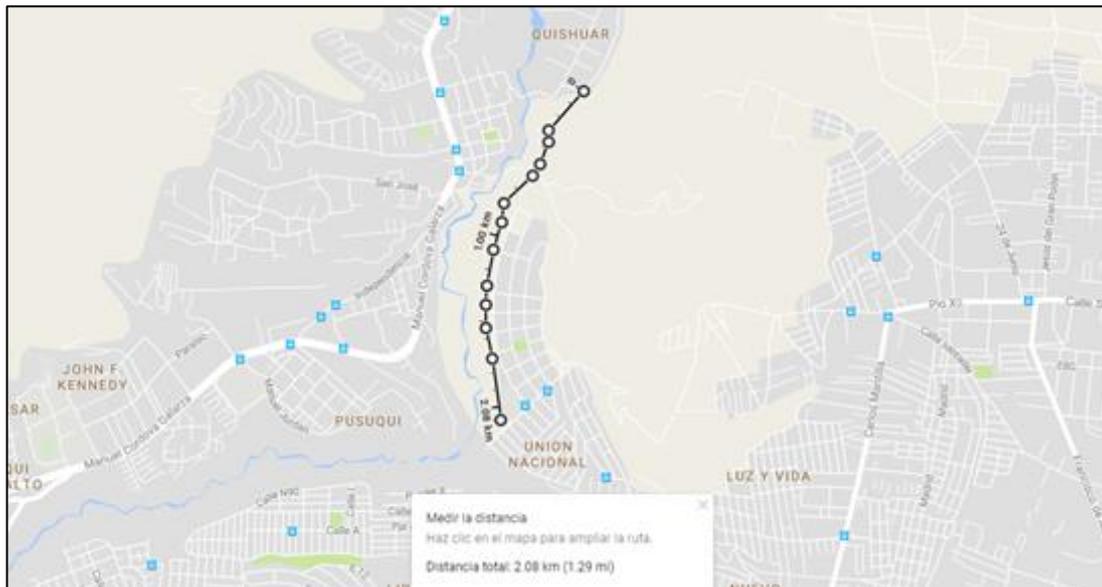
Como se puede apreciar en la gráfica 79 de comparación, tanto el torque y potencia con el sistema de combustible por carburador es menor en comparación con el sistema de inyección electrónica instalado, la potencia aumenta de 11.30 hp a 16.49 hp, que equivale a un incremento del 31.474%; también se puede apreciar que el torque aumenta de 8.80 ft-lb a 13.01 ft-lb, que equivale a un incremento del 32.360%.

#### **4.4. Análisis de resultados de consumo de combustible**

Para las pruebas de consumo de combustible se tomó como referencia un recorrido de carretera total de 2.08 Km, ubicado en la ciudad de Quito en la Av. Simón Bolívar, sector Pomasqui.

Uno de los factores importantes para realizar esta prueba fue pensar en la seguridad vial ya que la prueba se realizó al máximo de potencia ya que este pedazo carretero se encuentra cerrado al público y próximo a

inaugurarse, se pidió autorización a la autoridad pertinente ya que no circula ningún vehículo por esta carretera.



**Figura 80. Circuito para la prueba de consumo de combustible**

#### 4.4.1. Prueba consumo de combustible en condiciones normales

Para realizar las pruebas de consumo de combustible, se llenó el tanque con una probeta medidora en mililitros, con la cantidad de 500 ml y se restó la diferencia al terminar la prueba para determinar la cantidad de combustible gastada.

**Tabla 37.**  
**Prueba de consumo de combustible en condiciones normales**

Prueba	Vc(ml)
1	350
2	357
3	359
4	354

#### 4.4.2. Prueba consumo de combustible con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado

Al igual que la anterior prueba de consumo de combustible, se llenó el tanque con una probeta medidora en mililitros, con la cantidad de 500 ml y se restó la diferencia al terminar la prueba para determinar la cantidad de combustible gastada.

**Tabla 38.**  
**Prueba consumo de combustible con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado**

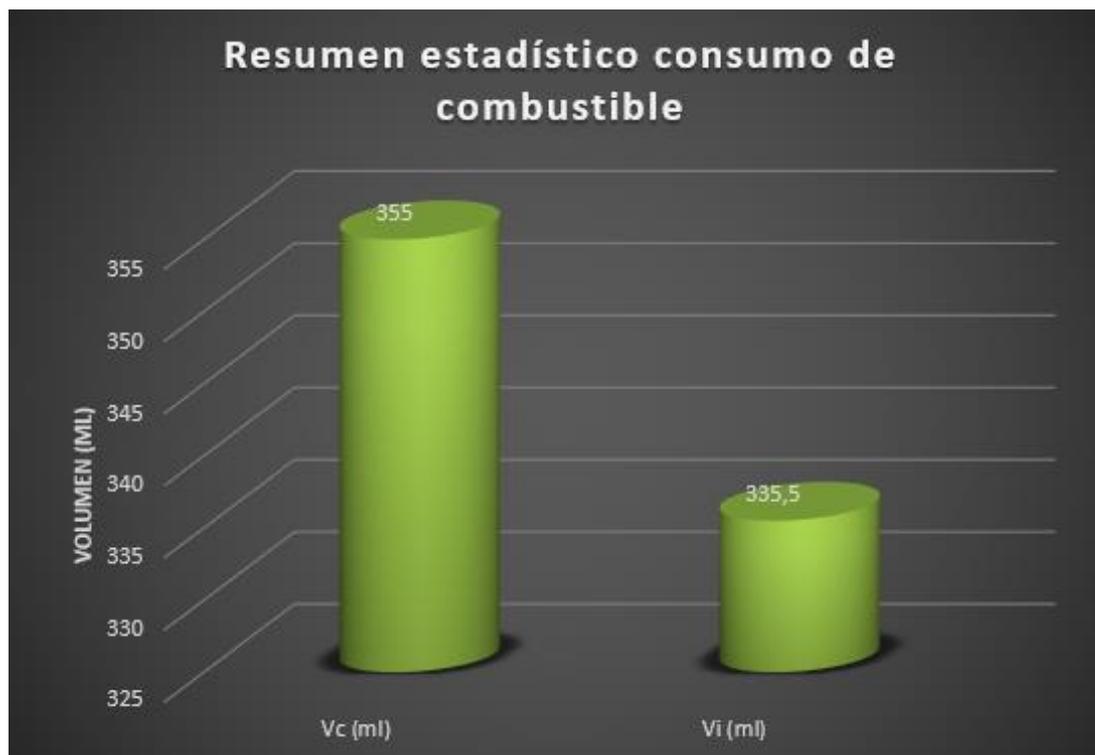
Prueba	Vi(ml)
1	340
2	327
3	330
4	345

#### 4.4.3. Comparación del consumo de combustible

Con las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se realizó una tabla estadística del consumo de combustible de la motocicleta UM DSR200, tomando estos resultados que nos permitieron determinar la variación del consumo de combustible de los dos sistemas.

**Tabla 39.**  
**Comparación consumo de combustible**

Valores	Carburador	Inyección
	Vc (ml)	Vi (ml)
Valor 1	350	340
Valor 2	357	327
Valor 3	359	330
Valor 4	354	345
Valor mínimo total	350	327
Valor máximo total	359	345
Promedio	355	335.5
Porcentaje de variación	---	<b>-5.493%</b>



**Figura 81. Resumen estadístico consumo de combustible.**

La tabla 81 muestra que en promedio el consumo de combustible con el sistema de encendido e inyección instalado se reduce de 355 ml a 335.5 ml en una distancia total de 2.08 km, que equivale a una reducción de consumo del 5.493%.

#### **4.5. Análisis de resultados prueba de gases de escape**

Se realizó la prueba de gases en el analizador de gases Cartek de la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE.

Uno de los parámetros importantes en la investigación es determinar las emisiones generadas en ralentí, para poder determinar la disminución o aumento de los gases de escape.

#### 4.5.1. Prueba de análisis de gases en condiciones normales.

Se realizó las pruebas de emisiones de gases en ralentí, con el sistema de alimentación de combustible por carburador y se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 40.**  
**Prueba N°1 de análisis de gases con carburador**

<b>RESULTADOS</b>	
HC:	1890 ppm
CO:	13.38 %
CO <sub>2</sub> :	7.57 %
O <sub>2</sub> :	3.70 %
RPM:	1382

**Tabla 41.**  
**Prueba N°2 de análisis de gases con carburador**

<b>RESULTADOS</b>	
HC:	1726.00 ppm
CO:	11.00 %
CO <sub>2</sub> :	7.84 %
O <sub>2</sub> :	4.60 %
RPM:	1556

En las tablas 40 y 41, se muestran los resultados obtenidos del análisis de gases, elaboradas en la motocicleta.

#### 4.5.2. Prueba de análisis de gases con el sistema de encendido e inyección electrónica instalado

Posteriormente se realizó la prueba de análisis de gases en ralentí, con el módulo de control electrónico de inyección y encendido instalado, y se obtuvo los siguientes datos.

**Tabla 42.**  
**Prueba N°1 de análisis de gases a inyección.**

RESULTADOS	
HC:	991.00 ppm
CO:	4.32 %
CO2:	5.48 %
O2:	2.60 %
RPM:	1472

**Tabla 43.**  
**Prueba N°2 de análisis de gases a inyección**

RESULTADOS	
HC:	1421.00 ppm
CO:	4.05 %
CO2:	6.60 %
O2:	3.27 %
RPM:	1547

Las tablas 42 y 43, muestran los resultados obtenidos con el sistema de inyección instalado se nota una evidente mejora en la emisión de gases.

#### 4.5.3. Comparación de análisis de gases de escape en ralentí.

Con las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se realizó una tabla estadística del de la emisión de gases de escape de la motocicleta UM DSR200, tomando estos resultados que nos permitieron determinar la variación de la variación de los gases de escape de los dos sistemas.

**Tabla 44.**  
**Comparación análisis de gases de escape**

Valores	Carburador					Inyección				
	HC ppm	CO %	CO2 %	O2%	RPM	HC ppm	CO %	CO2 %	O2%	RPM
Valor 1	1890	13,38	7,57	3,70	1382	991	4,32	5,48	2,60	1472
Valor 2	1726	11,00	7,84	4,60	1556	1421	4,05	6,60	3,27	1547
Promedio	1808	12,19	7,70	4,15	1469	1206	4,18	6,04	2,93	1509

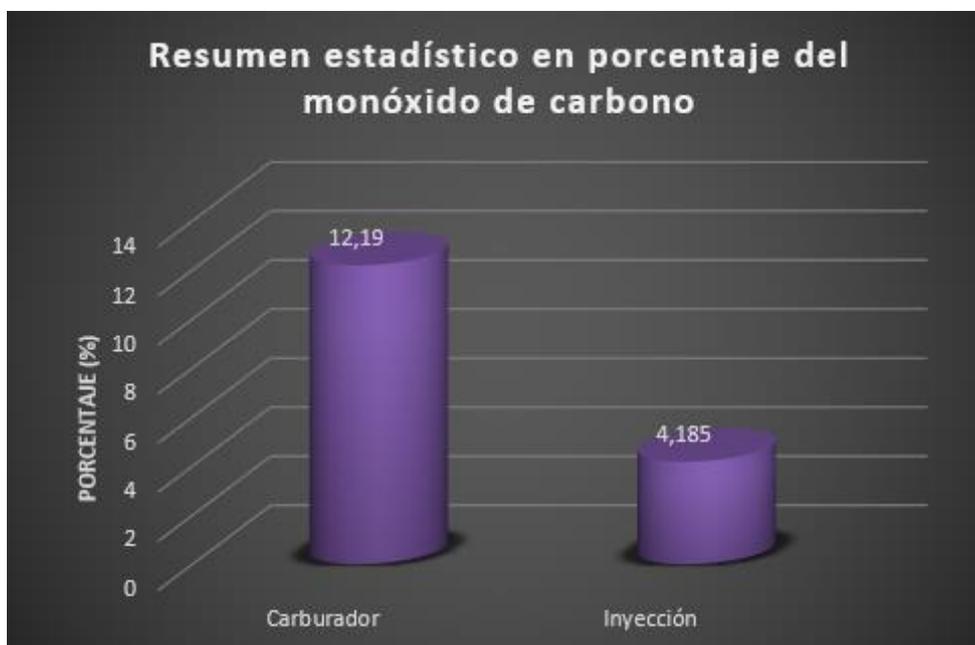
---

Porcentaje de variación	---	-33,30	-65,67	-21,61	-29,28	2,76
-------------------------	-----	--------	--------	--------	--------	------

---



**Figura 82. Resumen estadístico de hidrocarburos en partículas por millón.**



**Figura 83. Resumen estadístico en porcentaje del monóxido de carbono.**

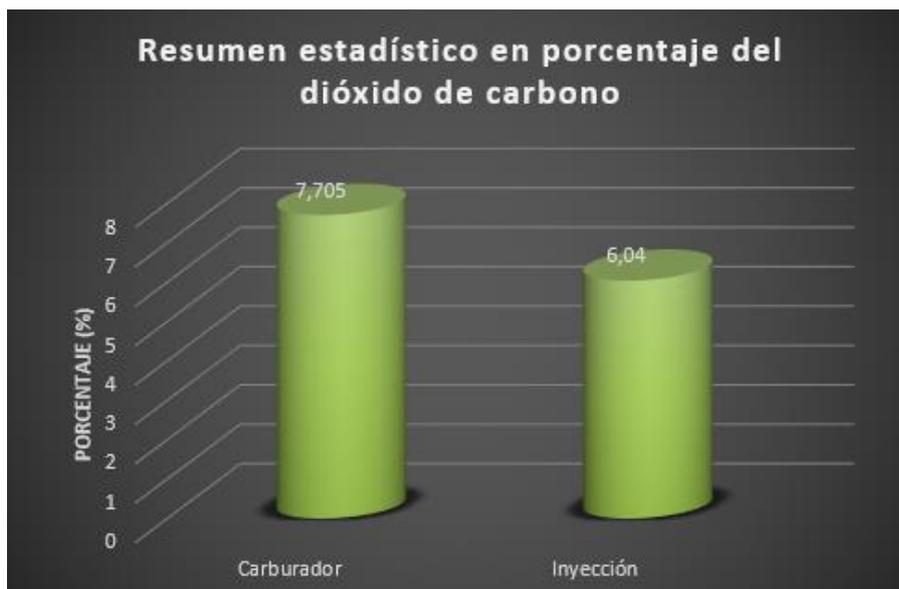


Figura 84. Resumen estadístico en porcentaje del dióxido de carbono.



Figura 85. Resumen estadístico en porcentaje de oxígeno.

Se pudo observar después de realizar la prueba de análisis de gases lo siguiente; los hidrocarburos disminuyeron en un 33.30%, de 1808 ppm a 1206 ppm; el porcentaje de CO (monóxido de carbono) disminuyó en un 65.67%, de 12.19 a 4.20; el porcentaje de CO<sub>2</sub> (monóxido de carbono) disminuyó en un 21.61%, de 7.71 a 6.04; finalmente el porcentaje de O<sub>2</sub> (oxígeno) disminuyó en un 29.28%, de 4.15 a 2.94 estando aun dentro de la norma de emisiones de gases correspondientes.

#### 4.6. Análisis comportamiento chispa de la bujía.

Se obtuvo los oscilogramas correspondientes, con la ayuda de una pinza amperimétrica y un oscilograma, tanto del sistema de encendido CDI original de la motocicleta y el sistema de encendido modificado del módulo de control electrónico.

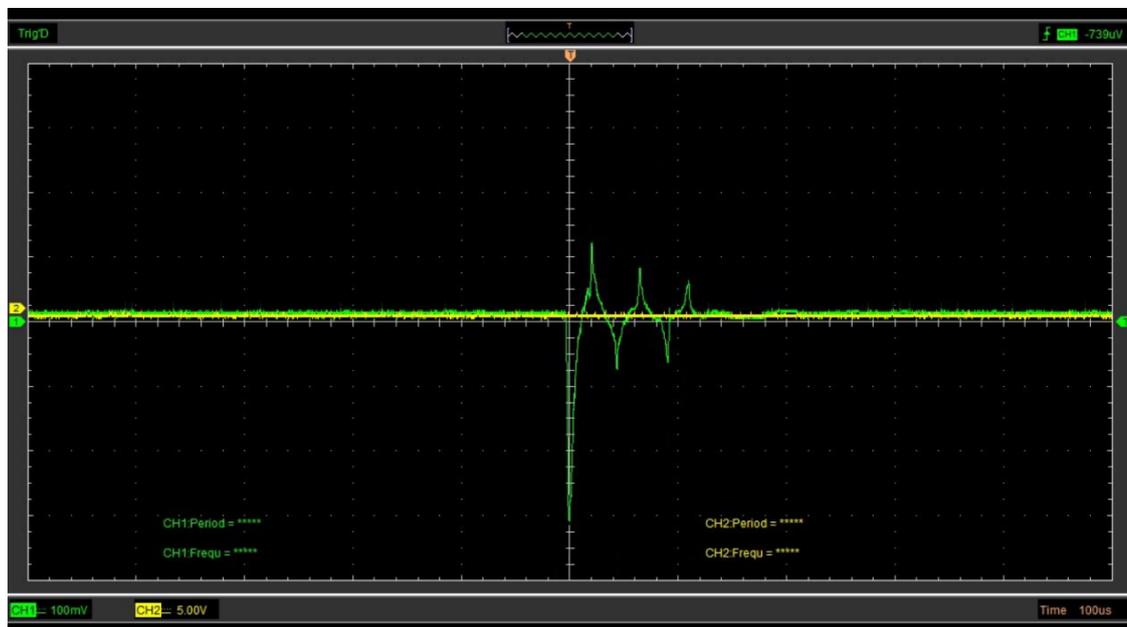
**Tabla 45.**

**Datos previos medidos para la obtención de los oscilogramas de bujía**

Descripción	Valor
Pinza amperimétrica	100mV/A
Bobina encendido secundario	6.1k $\Omega$

##### 4.6.1. Chispa de bujía con el sistema CDI original de la motocicleta.

Se obtuvo el siguiente oscilograma de la bujía mediante una pinza amperimétrica, en la figura 86:



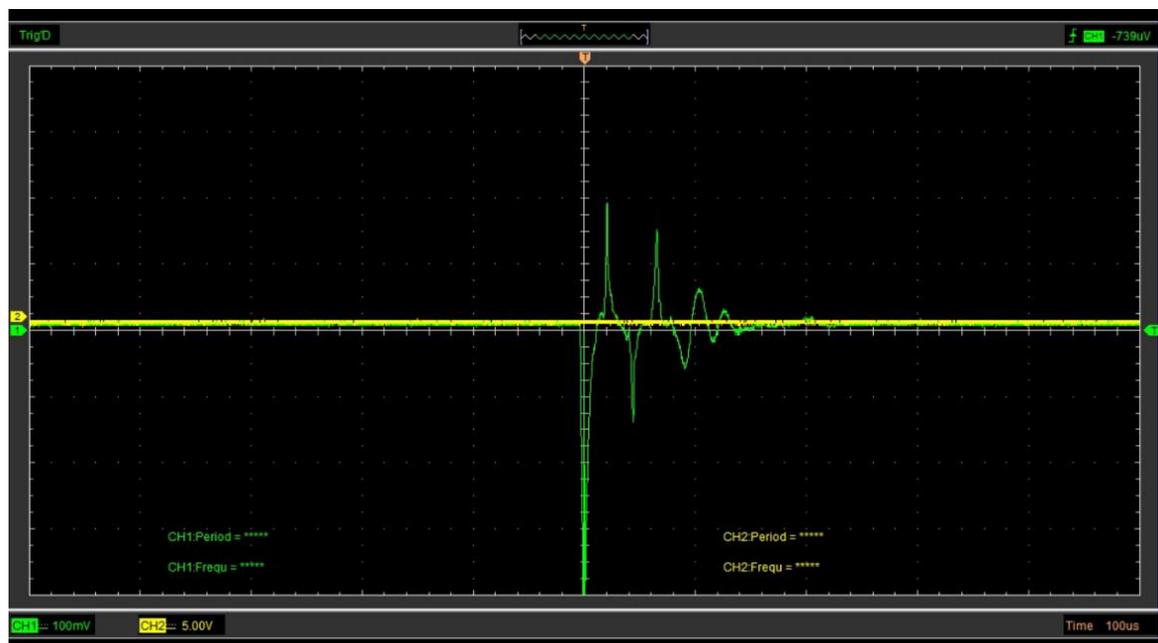
**Figura 86. Oscilograma bujía CDI original.**

**Tabla 46.**  
**Valores obtenidos en el oscilograma del cdi original.**

Descripción	Valor
Voltaje máximo (kV):	18.3
Voltaje mínimo (kV):	3.05
Corriente máxima (A):	3
Corriente mínima (A):	0.5
Angulo (°):	1.728

#### 4.6.2. Chispa de bujía con el sistema de encendido modificado del módulo de control de inyección electrónica.

Se instaló el módulo de encendido inyección y encendido electrónico para obtener el siguiente oscilograma de la bujía mediante la pinza amperimétrica, una característica de la pinza nos permitió determinar el amperaje mediante la siguiente relación 1A/100mV, en la figura 87:



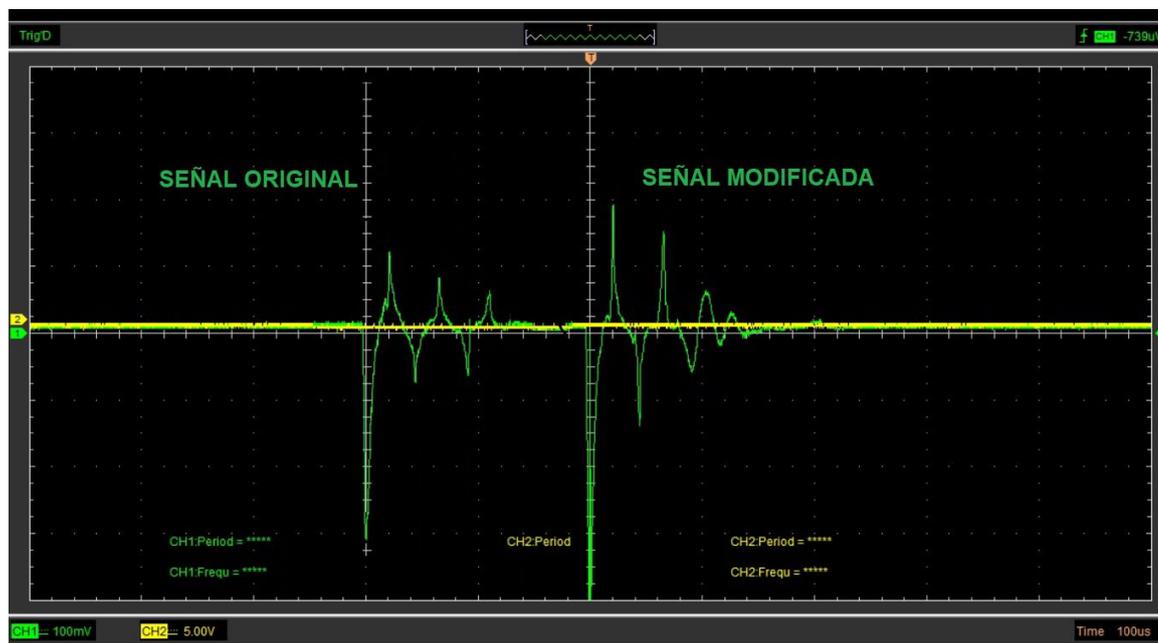
**Figura 87. Oscilograma bujía sistema de encendido modificado.**

**Tabla 47.**  
**Valores obtenidos en el oscilograma del módulo de inyección y encendido electrónico.**

Descripción	Valor
Voltaje máximo (kV):	24.4
Voltaje mínimo (kV):	4.27
Corriente máxima (A):	4
Corriente mínima (A):	0.70
Angulo (°):	2.016

#### 4.6.3. Comparación de datos obtenidos de la chispa de la bujía, con el CDI original y el módulo de encendido electrónico.

Se obtuvo los datos necesarios de los oscilogramas para elaborar un análisis estadístico del comportamiento de la chispa de la bujía con el CDI y el módulo de inyección y encendido electrónico, mostrados en la figura 88:



**Figura 88. Comparación de oscilogramas de la chispa de bujía.**

**Tabla 48.**  
**Comparación datos obtenidos chispa de bujía.**

Valores	Voltaje máximo (kV)	Voltaje mínimo (kV)	Corriente máxima (A)	Corriente mínima (A)	Ángulo encendido (°)
Oscilograma original	18.30	3.05	3	0.5	1.728
Oscilograma modificado	24.4	4.27	4	0.7	2.016
Valor máximo total	24.4	4.27	4	0.7	2.016
Promedio	21.35	3.66	3.5	0.6	1.872
Porcentaje de variación	<b>25%</b>	<b>29%</b>	<b>25%</b>	<b>29%</b>	<b>14%</b>



**Figura 89.** Resumen estadístico del voltaje máximo de la bujía.



**Figura 90.** Resumen estadístico del voltaje mínimo de la bujía.



Figura 91. Resumen estadístico de corriente máxima de la bujía.



Figura 92. Resumen estadístico de corriente mínima de la bujía.



**Figura 93. Resumen estadístico del ángulo de encendido de la bujía.**

En la tabla 93 se puede observar la variación que existe en los diferentes valores obtenidos, se nota un aumento con el módulo de inyección y encendido instalado; respecto al sistema de encendido original de la motocicleta, los valores de voltajes máximos aumentan en un 25%; de 18.30kV a 24.4kV. En cambio, los valores de voltajes mínimos aumentan en un 29%; de 3.05kV a 4.27Kv. También podemos observar el mismo comportamiento en la corriente máxima y mínima ya que esta depende directamente del voltaje. Podemos apreciar un aumento del 14% en el ángulo de encendido, que va de 1.728° a 2.016°, permitiendo que la chispa de la bujía este activa por mucho más tiempo generando mayor combustión.

## CAPÍTULO V

### MARCO ADMINISTRATIVO

#### 5.1. Recursos

En este capítulo se detallan los recursos que fueron utilizados en el desarrollo de este proyecto y que permitieron lograr el cumplimiento de las propuestas iniciales; estos son los siguientes:

##### 5.1.1. Recursos humanos

Es indispensable el soporte de personas con los conocimientos necesarios sobre los temas expuestos para que la propuesta pueda desarrollarse correctamente y así cumplir con los objetivos planteados.

**Tabla 49.**  
**Recursos humanos**

Nombre	Función
Ing. Germán Erazo	Director/supervisor de diseño
Ing. Leónidas Quiroz	Mecánica de patio (Medición análisis de gases)
Ing. José Quiroz	Laboratorio de Autotrónica
Fernando López	Investigador
Jonathan Lozada	Investigador

##### 5.1.2. Recursos físicos

La realización de la investigación requiere de un entorno adecuado que brinda condiciones óptimas, tanto en ordenamiento como en asepsia, para que así los resultados no se vean alterados.

**Tabla 50.**  
**Recursos físicos**

Actividad	Lugar
Parte teórica de la investigación	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas
	Armadas ESPE-L
	Domicilio de los investigadores.

CONTINÚA



---

Pruebas de laboratorio	Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L (Campus Belisario Quevedo)
------------------------	---

---

### 5.1.3. Recursos financieros

Varios materiales son necesarios para la investigación, así como equipos y herramientas, lo cual requiere de inversiones para adquirirlos; dicha inversión es realizada por el equipo de investigación.

**Tabla 51.**  
**Recursos financieros**

Detalle	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Fibra con cobre	1	5.50	5.50
ATMega328p	1	5.40	5.40
4N25	1	0.85	0.85
1N4007	2	0.07	0.14
LM7805	1	0.45	0.45
1N4148	1	0.07	0.07
Resistencias	4	0.06	0.24
TIP41C	1	0.59	0.59
BT152 800R	1	0.84	0.84
Soldadura de estaño	2m	0.55	1.1
Peróxido de hidrógeno 50%	1kg	8.00	8.00
Ácido muriático	1l	4.75	4.75
Molex 12pin	2	1.03	2.06
Zócalo dip6	1	0.09	0.09
Zócalo dip28	1	0.35	0.35
Uso dinamómetro	3	150.00	450.00
Combustible	2gal	2.05	4.10
Cables	8m	0.45	3.6
Movilización	1	80.00	80.00
Imprevistos	1	50.00	50.00
	TOTAL		618.13

---

#### 5.1.4. Recursos materiales

Para la investigación se requirió de dos tipos de recursos materiales que son técnicos, utilizados para ejecución de pruebas, y suministros de oficina, utilizados para la recopilación de información y elaboración de la parte teórica.

**Tabla 52.**  
**Recursos materiales**

Actividad	Material
Técnica	Cinta aislante
	Cables conectores
	Lagartos
	Guantes
Suministros de oficina	Papel bond
	Hojas de datos
	Manuales técnicos
	Memoria portátil

#### 5.1.5. Recursos tecnológicos

En la ejecución de la investigación se requiere del uso de equipos que permiten obtener y almacenar la información requerida; estos recursos se dividen en prácticos y teóricos.

**Tabla 53.**  
**Recursos tecnológicos**

Actividad	Equipo
Práctica	Osciloscopio DSO-2250
	Multímetro
	Dinamómetro DYNomite
Teórica	Computador
	Cámara
	Impresora
	Internet

## **5.2. Análisis de costo**

Es necesario considerar que se requiere realizar una puesta a punto de la motocicleta UM DSR200, que consistió en un cambio de junta de culata, cambio de aceite y filtro de aire, revisión de fugas, carga de batería y calibración de válvulas

El presupuesto real para la investigación es relativo puesto que está sujeto a cambios relacionados con la variación de los costos de los componentes que intervienen en el diseño y de la disponibilidad de los mismos dentro del mercado local.

## **5.3. Análisis-costo beneficio**

Debido a los niveles de precisión que se requieren para la ejecución del sistema, ese necesario utilizar equipos de alta tecnología y nivel de confiabilidad, lo cual incrementa el costo real del proyecto,

Considerando el aspecto social, destaca el hecho de que el proyecto contribuye a la mejora de la economía en el consumo de combustible y a la reducción de gases contaminantes lo cual es un aspecto altamente relevante considerando las regulaciones medioambientales cada vez más rígidas.

Dentro del aspecto humano resalta el conocimiento adquirido durante el desarrollo de la investigación, a lo que se le suma la experiencia obtenida en el ámbito del diseño y calibración de sistemas electrónicos microcontrolados y de potencia.

#### 5.4 Influencia socio-económica

Para este análisis se considera la instalación del sistema en 100 motocicletas por lo que la producción necesaria es de 100 módulos con un costo de producción de \$34.03 por unidad.

Con una ganancia del 50% sobre el costo de producción, que es un valor conservador considerando la complejidad que implica el sistema, se tiene la tabla 54:

**Tabla 54.**  
**Costos de producción y venta**

	Cantidad de módulos	Valor	Total
Costo de producción	100	34,03	3403,00
Valor de venta	100	51,045	5104,5

De esto se tiene que el valor de inversión inicial sería de \$3403.00 para la producción de 100 módulos, con lo cual se puede realizar el flujo de caja proyectado a cinco años, como se muestra en la tabla 55:

**Tabla 55.**  
**Flujo de caja proyectado**

Año	Saldo inicial	Ingreso	Egreso	Flujo de caja
1	1000	3573.15	2382.1	1191.05
2	1191.05	4083.6	2722.4	1361.2
3	1361.2	4594.05	3062.7	1534.35
4	1531.35	5104.5	3403.0	1701.5
5	1701.5	5614.95	3743.3	1871.65

En base a la proyección se puede determinar el valor actual neto y la tasa interna de retorno para establecer la rentabilidad del proyecto, para lo cual se utiliza el software de cálculo en línea vantir disponible de forma gratuita en la página <http://www.vantir.com/default.aspx>.

<b>Desembolso Inicial</b>	
<input type="text" value="-3403,00"/>	
<b>Tasa de Actualización porcentual</b>	
<input type="text" value="10"/>	
<b>Flujos de Caja</b>	
<input type="text"/>	
<input type="button" value="Añadir Flujo"/>	
1	1191,05
2	1361,2
3	1531,85
4	1701,5
5	1871,65
6	
7	
8	
9	
<input type="button" value="Borrar Seleccionado"/>	
<b>Resultado</b>	
<b>VAN:</b>	<b>2072,66</b>
<b>TIR:</b>	<b>31,6%</b>

**Figura 94. Cálculo del VAN y la TIR.**

Al analizar el valor del VAN se puede notar que el proyecto es rentable puesto que el valor es positivo y suficiente elevado, además al considerar que el valor de la TIR es del 31.6% se tiene que aún existen 21 puntos porcentuales de la tasa de actualización con los cuales se puede trabajar sin riesgo de que se pierda la rentabilidad.

## CONCLUSIONES

- Se investigó la incidencia en los parámetros mecánicos de combustión interna de 200cc cuando se le implementó el sistema de control de inyección y encendido.
- Se realizó el levantamiento bibliográfico de textos mayormente escritos en idioma inglés, esto se debió a que la información en este lenguaje es mucho más amplia y profunda que la que se encuentra disponible en español.
- Se realizó el diseño del módulo de control electrónico, así como el dimensionamiento de sus componentes para comandar la inyección y el encendido del motor.
- El algoritmo de programación se seleccionó en base al comportamiento del motor y la sensibilidad de los sensores frente a los cambios que se presentan en el flujo de admisión de combustible.
- La potencia y torque resultantes al implementar el sistema de inyección electrónica son mayores a los obtenidos con la motocicleta estándar debido a la optimización que realiza el sistema de control electrónico.
- Se realizó una revisión técnica de todos los sistemas de la motocicleta de forma que se garantizó el correcto funcionamiento de los mismos antes de iniciar las pruebas para así incrementar la fiabilidad de los resultados.
- El consumo de combustible tuvo una disminución promedio del 5.49% debido a que la cantidad de inyección es menor a la requerida, sobre todo a régimen medio de velocidad de giro del motor.
- Las pruebas en dinamómetro arrojaron un incremento de 5HP de potencia respecto al sistema con carburación debido a que la gestión electrónica permite introducir la cantidad óptima de combustible y controlar el adelanto al encendido que a su vez produce una mejor combustión lo cual mejora el desempeño del motor.
- Las pruebas de gases mostraron una disminución sustancial en todos los parámetros medidos para gases contaminantes, lo que valida la implementación del sistema de inyección.

- El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas permite validar la funcionalidad en términos de consumo y reducción de emisiones contaminantes, además de brindar mejoras significativas en potencia y torque.
- El análisis económico en base al valor actual neto y la tasa interna de retorno permiten determinar la factibilidad del proyecto puesto que el VAN tiene un resultado positivo y elevado, mientras que la TIR permite variar hasta en 21 puntos porcentuales la tasa de actualización por lo que se puede jugar con los valores de venta para adaptarse a los cambios en el mercado sin riesgo de pérdidas.
- En base a los parámetros iniciales se llevó a cabo el diseño del acondicionador de la señal de entrada proveniente del CKP, para que la misma pueda ser leída correctamente por el microcontrolador, y de la fuente de alimentación de forma que esta pueda suplir las necesidades de corriente de cada sección del módulo.
- El driver de encendido fue diseñado en función de los voltajes máximos que puede recibir el mismo, los cuales pueden llegar hasta cerca de 400V de corriente alterna, aislando esta sección del circuito de forma que pueda comunicarse con el microcontrolador y al mismo tiempo evite que tan alto voltaje alcance a estos otros elementos que no lo toleren.
- El driver de inyección se diseñó con base al comportamiento de la bobina del inyector de forma que, además de garantizar una rápida respuesta, se asegure una eliminación del pico de voltaje que se produce en el momento de la desconexión protegiendo así al resto de componentes del módulo de control.
- La selección de componentes de cada sección del circuito se efectuó tomando en cuenta no sólo los voltajes y corrientes que pueden manejar sino también tomando en función a su desempeño eléctrico en términos de velocidad de respuesta y temperatura de trabajo.
- En base a las pruebas realizadas se determinó que el sistema de inyección por Velocidad-Densidad no es adecuado para su implementación en motores de baja cilindrada debido a que la variación

en el flujo de aire no puede ser detectada por el MAP lo que provoca que no se tenga control del motor en términos de aceleración.

- El sistema de inyección por Alfa-N es el que mejor desempeño presentó al momento de su implementación a pesar de que el caudal de aire que ingresa únicamente se estima en lugar de medirse.

## RECOMENDACIONES

- Realizar mediciones preliminares de las señales de ingreso al módulo de forma que se asegure que se encuentran dentro de los límites que puede soportar cada sección del circuito.
- Verificar el correcto funcionamiento de los equipos de medición antes de iniciar las pruebas para garantizar que los resultados que se obtengan sean los adecuados.
- Realizar pruebas exhaustivas en dinamómetro para la calibración con el sistema Alfa-N, de manera que las variables de torque y potencia puedan incrementarse de manera sustancial.
- Utilizar un sensor MAF, de tamaño adecuado para la motocicleta, para la medición del flujo másico de aire de admisión de manera que se pueda implementar el sistema de inyección por Velocidad-Densidad y así mejorar más el desempeño del motor.
- Para poder incrementar la precisión de los pulsos de inyección se recomienda utilizar una memoria EEPROM externa de alta capacidad, de manera que se pueda implementar mapas de inyección y evitar el uso de ecuaciones para el cálculo de los pulsos.
- Verificar que las condiciones mecánicas del motor son las mismas antes de realizar cada prueba para evitar de esta forma que se alteren los resultados de las mediciones.
- Al construir la placa de circuitos es recomendable el uso fibra con cobre en lugar de baquelita con cobre puesto que el resultado en comportamiento, tanto mecánico como eléctrico, es de una calidad superior con la fibra.
- Implementar un sistema de descarga para el capacitor, que puede quedar cargado hasta con 400V, al momento de apagar el módulo que no interfiera con el funcionamiento del driver de encendido, de modo que se pueda retirar el módulo sin riesgo de choque eléctrico.
- Nunca descargar el capacitor por medio de un cortocircuito en sus terminales, puesto que si el mismo se encuentra a máxima carga se producirá una chispa considerable que puede afectar no sólo a la

persona que realiza la maniobra, sino que puede dañar a los componentes enlazados tal como el SCR.

- Utilizar siempre equipo de protección eléctrica para evitar lesiones a la persona y daños a los componentes que en algunos casos pueden llegar a ser difíciles de detectar.
- Debido a la falta de control sobre la mezcla aire-combustible ocasionada por la incapacidad de determinar la cantidad exacta de aire de admisión es recomendable no implementar este sistema en motores con menor a 600cc o peor aún en motores monocilíndricos a menos que se cuente con un MAF de alta precisión o dedicado para motocicletas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonsin, G. (Recuperado el: 4 de Noviembre de 2010). *Autoblog*. Obtenido de <http://es.autoblog.com/2010/11/04/sema-2010-vortex-f1-al-estilo-ktm-x-bow-ariel-atom/>
- Arleco producciones. (Recuperado el: 10 de Marzo de 2010). *Blogicars*. Obtenido de blogicars: <http://www.blogicars.com/2010/03/mejores-autos-compactos-carros-pequenos-y-ahorradores/>
- Armansyah, S. (Recuperado el: 28 de Diciembre de 2016). *Binus ASO School of Engineering*. Obtenido de <http://base.binus.ac.id/automotive-robotics-engineering/2016/12/28/air-fuel-ratio-in-internal-combustion-engine/>
- Autotronic Controls Corporation. (2007). *MSD Single Cylinder Programmable Ignition*. USA: Autotronic Controls Corporation.
- Balich, G., & Aschenbach, C. (2004). *The Gasoline 4-stroke Engine for Automobiles*. Notre Dame: University of Notre Dame.
- Banish, G. (2007). *Engine Managment - Advanced Tunning*. Minnesota: CarTech.
- Basshuysen, R. v., & Schäfer, F. (2004). *Internal Combustion Engine Handbook - Basics, Components, Systems and Perspectives*. Warrendale: SAE International.
- Bosch, R. G. (2005). *Manual de la Técnica del Automóvil*. Germany: Bosch Robert GmbH.
- Bowling, B., & Grippo, A. (2000). *Efi332*. Obtenido de Efi332: <http://www.diy-efi.org/efi332/equations/algorithm.htm>
- Bremond, A., & Merceron, P. (2004). *AN819 Application Note - Capacitive Discharge Ignition*. Australia: STMicroelectronics.

Cars.com. (Recuperado el: 17 de Octubre de 2012). *Noticias de Vehiculos 0 km*. Obtenido de <http://www.cars.com.ar/noticia/1809/kenguru-un-vehiculo-para-discapacitados#.U82zSLEcfIV>

Chichak, M. (2002). *Tuning the Lucas Distributor*. Lucas Distributor.

Comercio, E. (Recuperado el: 26 de Julio de 2016). En Quito circulan 15 525 motos, el 5% del parque automotor. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/deportes/carburando/grandes-beneficios-autos-pequenos.html>

Cotopaxinoticias.com. (Recuperado el: 16 de Marzo de 2010). Nacional de motocross senior empieza en Latacunga. *Cotopaxi noticias*.

Crolla, D. (2009). *Automotive Engineering - Power Train, Chasis System and Vehicle Body*. Estados Unidos, Estados Unidos: Elsevier.

Crolla, D. A. (2009). *Automotive Engineering, Powertrain, Chasis Systmen and Vehicle Body*. Oxford: Elsevier.

Cuadra, A. (Recuperado el: 17 de 9 de 2014). *Moto 125.cc*. Obtenido de Inyección electrónica: <http://moto125.cc/f125cc/kymco/item/981-tecnica-inyeccion>

Denton, T. (2012). *Advance Automotive Fault Diagnosis*. Oxfordshire: Routledge.

Fiat, G. (Recuperado el: 08 de 12 de 2012). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/116018755/Curvas-Characterísticas>

Fluke Corporation. (2017). *Fluke*. Obtenido de <http://en-us.fluke.com/training/training-library/measurements/electricity/what-is-duty-cycle.html>

- Freescale Semiconductor Inc. (2004). Digital Capacitive Discharge Ignition System using HC05/HC08 8-bit Microcontroller. Freescale Semiconductor Inc.
- Gómez-Acebo, T. (2005). *Termodinámica - Notas de clase*. Donostia-San Sebastián: TECNUM.
- Greg, B. (2007). *Engine Managment Advenced Tunning*. North Branch: CarTech® Inc.
- Hella. (2009). *Ingition coils in motor vehicles*. Lippstadt Germany: Hella KGaA Hueck & Co.
- Hella KGaA Hueck & Co. (2009). *Ingition coils in motor vehicles*. Lippstadt Germany: Hella KGaA Hueck & Co.
- Honda Motor Co. Inc. (2006). Honda Programmed Fuel Injection - How it works.
- Honda Motor Co. Inc. (2006). *Honda Programmed Fuel Injection - How it works*.
- IMT. (1999). Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/45324908/SELECCION-DEL-TREN-MOTRIZ-DE>
- INEN. (2012). NTE 2656:2012. *Clasificación vehicular*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
- Kindler, H., & Kynast, H. (1984). *Matemática aplicada para la técnica del Automovil*. Barcelona: Reverté.
- Lam, K. (2004). *Digital capacitive discharge ignition system using HC05/HC08 8-bit Microcontroller*. Freescale Semiconductor Inc.
- Martin, T. (2012). *How to Tune and Modify Motorcycle Engine Management Systems*. Wisconsin: Motorbooks.

Martin, T. (2012). *How to tune and modify motorcycle engine management systems*. Wisconsin: Motorbooks.

Martin, T. (2012). *How to Tune and Modify Motorcycle Engine Management Systems*. Motorbooks.

Montevideo. (s.f.). Obtenido de <http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/Elementos%20tren%20motriz.pdf>

Nakamura, T., Takahiko, H., Masashi, S., Michihisa, N., & Yuuichirou, S. (2003). *Fuel Injection System for Smaller Motorcycles*. YAMAHA MOTOR TECHNICAL REVIEW .

NASA. (Recuperado el: 5 de Mayo de 2015). NASA. Obtenido de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/fluden.html>

NGK Corporation Europe. (2017). *NGK NTK*. Obtenido de <https://www.ngk.de/es/tecnologia-en-detalle/sondas-lambda/aspectos-basicos-de-los-gases-de-escape/la-mezcla-ideal/>

Orovio, M. (2010). *Tecnología del Automóvil*. Madrid: Paraninfo.

Payri, F., & Desantes, J. (2013). *Motores de Combustión Interna Alternativos*. Barcelona: Reverté.

Pulkrabek, W. (1997). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Plateville: Prentice Hall.

RAE. (Recuperado el: 30 de 08 de 2016). *Diccionario de la lengua española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=PwKxWOu>

Rees, L. (2007). *Principles of Electricity and Magnetism - Theory and applications*. Provo: Brigham Young University .

Riva , C. (2002). *"DISEÑO CONCURRENTE"*.

- Rodríguez, M. (Recuperado el: 23 de 01 de 2015). *Revista Digital Inesem*.  
Obtenido de Diferencia entre sensor y transductor:  
<http://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/diferencia-sensor-transductor-captador/>
- Smart, M. (s.f.). Obtenido de <https://www.smart.com/es/es/index/smartfortwo.html>
- STMicroelectronics. (2004). *AN819 Application Note - Capacitive Discharge Ignition*. Australia: STMicroelectronics.
- Stone, R., & Ball, J. (2004). *Automotive Engineering Fundamentals*. Warrendale, Pa: SAE International.
- Stone, R., & Ball, J. K. (2004). *Automotive Engineering Fundamentals*. Warrendale: SAE International.
- Turismo, R. T. (Recuperado el: 08 de 02 de 2015). Obtenido de <http://tyt.com.mx/reportajes/que-se-debe-considerar-antes-de-seleccionar-un-tren-motriz/>
- Wade, A. (2004). *Motorcycle Fuel Injection Handbook*. Motorbooks International.
- Wade, A. (2004). *Motorcycle Fuel Injection Handbook*. Motorbooks.
- Wikipedia. (Recuperado el: 18 de 02 de 2016). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Smart>
- Zareei, J., & Kakaee, A. H. (2013). Study and the effects of ignition timing on gasoline engine performance and emissions. Berlin: Springer.
- Zarei, & Kakaee. (2013). *A study and the effects of ignition timing on gasoline engine performance and emissions*. Springer.

Zimmerman, M. (Recuperado el: 28 de 10 de 2009). *Motorcycle Cruiser*.  
Obtenido de Motorcycle Cruiser: <http://www.motorcyclecruiser.com/how-electronic-fuel-injection-efi-works-how-to>

# ANEXOS



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

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **RENE FERNANDO LÓPEZ BARBERÁN** y **JONATHAN SAMUEL LOZADA PILCO**.

En la ciudad de Latacunga, a los **8 días del mes de agosto del 2017**.

Ing. Germán Erazo

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Aprobado por:**

Ing. Danilo Zambrano

**DIRECTOR DE CARRERA**



Dr. Freddy Jaramillo

**SECRETARIO ACADÉMICO**