



ESPE

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

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250CC PARA LA
COMPETICIÓN MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA
PROGRAMABLE MICROSQURT”**

AUTOR: VELOZ DOMINGUEZ, JEFFERSON WLADIMIR

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, GERMÁN WASHINGTON

LATACUNGA

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250CC PARA LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT”** fue realizado por el señor **VELOZ DOMÍNGUEZ, JEFFERSON WLADIMIR** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de enero del 2019

Firma:

.....
Ing. Washington Germán Erazo Laverde

DIRECTOR

0501432637



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

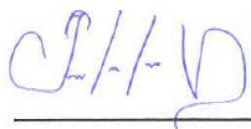
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **VELOZ DOMÍNGUEZ, JEFFERSON WLADIMIR** declaro que el contenido de ideas y criterios del trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250CC PARA LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos de intelectualidad de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 25 de enero del 2019

 Firma

Veloz Domínguez Jefferson Wladimir

C.C.: 172163355-8



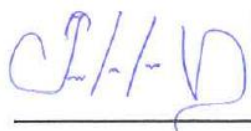
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, **VELOZ DOMÍNGUEZ, JEFFERSON WLADIMIR** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar el trabajo de titulación “**INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250CC PARA LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 25 de enero del 2019

 Firma

Veloz Domínguez Jefferson Wladimir

C.C.: 172163355-8

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a Dios y a la Virgen Dolorosa quien me ha cuidado y protegido a lo largo de este camino.

Dedico a mis padres Washington y Luz quienes han sido un pilar importante y fundamental, ya que, sin el apoyo incondicional de ellos, esto no hubiera sido posible.

Dedico a mis hermanos Andrés y John Sebastián quienes han contribuido elementalmente, con frases cortas pero que en su momento me han sabido motivar que con simples palabras no se puede expresar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen Dolorosa por cuidarme, protegerme y brindarme la suficiente sabiduría para poder superar cada dificultad que se ha presentado a lo largo de este camino, ya que su presencia se sentía en los momentos más adversos.

Agradezco también a mi padre, Washington por haber confiado siempre en mí, por brindarme sus experiencias y las palabras de aliento todos los domingos que regresaba a Latacunga para empezar una semana más de estudios.

A mi madrecita querida Luz, quien, con sus regaños, con sus actitudes, con su forma tan peculiar de educarme, podría manifestar firmemente que sin ella no habría llegado donde ahora estoy.

A mis hermanos Andrés y John Sebastián quienes con su granito de arena me han ayudado a finalizar con éxito esta etapa de mi vida, y ahora se lo ve reflejado.

Agradezco también a todos mis tíos y primos que me han ayudado de una u otra forma, por brindarme sus consejos y sus palabras de aliento para seguir adelante en los momentos más difíciles en los que me encontraba.

A mis amigos de colegio que siempre han estado pendientes de mí, con sus consejos y palabras de aliento.

A mis amigos de la universidad con quienes se ha pasados buenos y malos momentos, así como también incontables amanecidas haciendo deberes, proyectos, testamentos, novatadas, integraciones entre otras actividades.

Agradezco también a mi enamorada Carla Estefanía, ya que ella ha sido un apoyo importante en toda esta etapa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE TABLAS.....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii

CAPÍTULO I

INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250cc PARA LA COMPETENCIA MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT

1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Planteamiento del problema.	2
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	4
1.4. Justificación e importancia.....	6
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general.	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. Metas del proyecto.	8
1.7. Hipótesis.....	9
1.8. Variables de la investigación.	9
1.8.1. Variable independiente.....	9

1.8.2. Variable dependiente.....	10
1.9. Metodología de la investigación del proyecto.....	11
1.9.1. Método inductivo	11
1.9.2. Método deductivo	11
1.9.3. Método experimental	12
1.9.4. Método analítico	12
1.9.5. Método comparativo	12
1.9.6. Método de matematización.....	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción	15
2.2. Motocicletas de competición.....	15
2.3. Motor a combustión interna.	16
2.4. Cálculo de parámetros fundamentales	18
2.4.1. Par efectivo.....	18
2.4.2. Potencia efectiva	19
2.5. Rendimiento mecánico	20
2.6. Rendimiento volumétrico	20
2.7. Rendimiento térmico.....	21
2.8. Cálculo de parámetros fundamentales	22
2.8.1. Masa de aire desplazada.....	22
2.9. Relación aire combustible.....	23
2.10. Consumo específico de combustible	24
2.11. Flujo másico de aire.....	25
2.12. Speed density	26
2.13. Entrega de combustible	27
2.14. Sucesos en el momento del encendido	29
2.15. Duración de la chispa	31
2.16. Sistema de inyección electrónica en una motocicleta	31
2.17. Componentes del sistema de inyección electrónica.	33
2.18. Sensores	34

2.18.1. Sensor de temperatura de aire de entrada	34
2.18.2. Sensor de presión absoluta del múltiple	35
2.18.3. Sensor de posición de la mariposa de aceleración	36
2.18.4. Sensor de posición del cigüeñal	38
2.18.5. Sensor de oxígeno:.....	39
2.19. Actuadores	40
2.19.1. Inyector.....	40
2.19.2. Bobina de encendido	43
2.19.3. Bomba de combustible	44
2.20. Sistema de gestión programable microsquirt.....	45
2.21. Interfaz.....	47
2.22. Mapas de inyección y encendido.....	48
2.23. Modelación de mapa por Speed density.....	51
2.24. Afinación de AFR (air fuel ratio).....	51
2.25. Avance al encendido.	53
2.26. Correcciones y enriquecimientos.	55
2.27. Tabla VE (eficiencia volumétrica)	57

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT CON TODOS LOS ELEMENTOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS NECESARIOS PARA SU FUNCIONAMIENTO.

3.1. Introducción	59
3.2. Especificaciones técnicas del motor KTM 250 cc.....	59
3.5. Multímetro automotriz.	61
3.6. Analizador de gases Brain Bee AGS-688.....	62
3.7. Dinamómetro de rodillo.....	63
3.3. Sensores y actuadores.....	64
3.3.1. TPS (Sensor de posición de la mariposa de aceleración)	64
3.3.2. Sensor MAP + IAT	65
3.3.3. Sensor ECT (Sensor de temperatura de refrigerante).....	67
3.3.4. Sensor CKP (Crank position sensor)	67

3.3.5.	Inyector.....	69
3.3.6.	Bomba de combustible.....	69
3.3.7.	Bobina de encendido.....	70
3.3.8.	Electro ventilador.....	71
3.4.	Unidad electrónica de control.....	71
3.4.1.	Distribución de pines.....	72
3.4.2.	Cable serial RS232.....	73
3.8.	Instalación de componentes eléctricos.....	74
3.9.	Instalación de ECU MICROSQURT.....	76
3.10.	Instalación de software TunerStudio MS.....	78
3.11.	Creación de proyecto nuevo.....	81
3.12.	Ajustes y configuraciones previas a encender el motor.....	82
3.12.1.	Relojes marcadores.....	82
3.12.2.	Configuraciones de motor y control de la ECU MICROSQURT.....	84
3.12.3.	Activación de actuadores.....	89
3.12.4.	Calibración de sensores.....	90
3.13.	Mapas de eficiencia volumétrica y avance al encendido.....	92

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.	Primera prueba sobre el dinamómetro con el mapa base.....	94
4.2.	Cálculos sobre parámetros fundamentales para realizar la afinación.....	97
4.2.1.	Cálculo de masa de aire que ingresa al motor.....	97
4.2.2.	Eficiencia Volumétrica.....	98
4.2.3.	Velocidad de entrada de aire que ingresa al motor.....	99
4.2.4.	Masa de combustible a suministrar.....	101
4.2.5.	Consumo específico de combustible.....	102
4.2.6.	Tiempo de apertura del inyector.....	103
4.2.7.	Ciclo de trabajo o Duty Cycle.....	104
4.3.	Segunda prueba sobre el dinamómetro y Calibración de Mapa Ve.....	106
4.4.	Tercera prueba sobre el dinamómetro.....	110
4.5.	Pruebas de consumo de combustible.....	114

4.6. Prueba de emisiones de gases.	119
4.6.1. Instrucciones antes de realizar las mediciones	121
4.6.2. Proceso de prueba y mediciones.	121
4.7. Primera prueba de emisiones de gases.	121
4.8. Segunda prueba de emisiones de gases.....	122
4.9. Tercera prueba de emisiones de gases.....	123
4.10. Análisis de emisiones contaminantes.....	124

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos.	130
5.2. Recursos humanos.....	130
5.3. Recursos tecnológicos.....	131
5.4. Recursos materiales.....	131
5.5. Análisis de presupuesto invertido en el proyecto de investigación.	132
CONCLUSIONES.....	134
RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXOS.....	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planteamiento del problema esquematizado.....	4
Figura 2. Métodos que se aplicaron en la investigación	11
Figura 3. Motocicleta tipo GP.....	16
Figura 4. Ciclo práctico de un motor a combustión interna	17
Figura 5. Ciclo termodinámico de un motor a combustión interna.....	17
Figura 6. Descomposición de fuerzas.....	18
Figura 7. Curva característica de par motor.....	18
Figura 8. Medición de potencia en dinamómetro de rodillos.....	19
Figura 9. Curva característica de potencia	19
Figura 10. Relación de potencia, con varias mezclas estequiométricas.....	24
Figura 11. Señal de ciclo de trabajo o PWR	28
Figura 12. Esquematación de sistema de inyección en una motocicleta	32
Figura 13. Sistema de inyección electrónica.....	33
Figura 14. Sensor de temperatura de aire de entrada IAT	34
Figura 15. Sensor presión absoluta del múltiple (MAP).....	35
Figura 16. Curva característica del sensor MAP.....	36
Figura 17. Sensor de posición de la mariposa de aceleración.....	36
Figura 18. Conexión del sensor TPS a la ECU.....	37
Figura 19. Curva característica de un sensor TPS	37
Figura 20. Ubicación de un sensor CKP	38
Figura 21. Forma de onda de sensor CKP	39
Figura 22. Ubicación del sensor de oxígeno.....	40

Figura 23. Curva característica del sensor EGO	40
Figura 24. Inyector	41
Figura 25. Partes el inyector.	42
Figura 26. Curva característica de un inyector	42
Figura 27. Bobina de encendido COP	44
Figura 28. Bomba de combustible para inyección electrónica	44
Figura 29. Sistema programable microsquirt	45
Figura 30. Esquema funcional de la microsquirt	45
Figura 31. Cable de transferencia de datos con la PC	47
Figura 32. Forma correcta de instalar los sensores	47
Figura 33. Principales Mapas configurables	49
Figura 34. Mapa base para corrección	50
Figura 35. Mapa corregido y eficiente.....	50
Figura 36. Sensor de tempera de multiple de escape	53
Figura 37. Tabla y mapa de avance al encendido	54
Figura 38. Tabla de combustible separado por zonas	57
Figura 39. Motor utilizado para la competición MOTOSTUDENT	60
Figura 40. Multímetro automotriz	62
Figura 41. Analizador de gases Brain Bee	62
Figura 42. Dinamómetro de rodillos para motocicleta.....	64
Figura 43. Sensor TPS (throttle position sensor)	65
Figura 44. Diagrama de conexión	65
Figura 45. Sensor MAP y IAT	66
Figura 46. Pines de sensor MAP y IAT	66

Figura 47. Sensor de temperatura de refrigerante.....	67
Figura 48. Sensor de giro de cigüeñal	68
Figura 49. Rueda fónica	68
Figura 50. Inyector de KTM 390 cc.....	69
Figura 51. Bomba de combustible	70
Figura 52. Bobina de encendido para un cilindro.....	70
Figura 53. Electro ventilador	71
Figura 54. Pines de conexión a la ECU	72
Figura 55. Cable serial RS232.....	73
Figura 56. Conector incluido en el arnés de instalación	74
Figura 57. Diagrama de conexión de un relé.....	74
Figura 58. Conexión de relés.....	74
Figura 59. Regulador de voltaje.....	75
Figura 60. Conector proveniente del motor.....	75
Figura 61. Switch on/off ubicado en el manillar de la moto.....	75
Figura 62. Pulsador de arranque	75
Figura 63. Esquema de pines y conexión de sensores y actuadores	76
Figura 64. Conector correspondiente al Sensor TPS	77
Figura 65. Conector correspondiente al Sensor MAP y IAT	77
Figura 66. Conector de Sensor ECT.....	77
Figura 67. Conector correspondiente al Inyector	77
Figura 68. Bobina de encendido	78
Figura 69. Compatibilidad para diversos sistemas operativos	78
Figura 70. Archivo para realizar la instalación correspondiente.....	79

Figura 71. Ventana inicial de instalación TunerStudio MS.....	79
Figura 72. Ventana para aceptar términos y condiciones.....	79
Figura 73. Dirección de archivo	80
Figura 74. Ciclo de instalación del software.....	80
Figura 75. Finalizando el proceso de instalación de TunerStudio MS	80
Figura 76. Interfaz inicial de TunerStudio MS.....	81
Figura 77. Ventana de creación del proyecto	81
Figura 78. Selección de unidades y sensores	81
Figura 79. Selección de puertos de comunicación	82
Figura 80. Interfaz a utilizar	82
Figura 81. Interfaz gráfica de inicio.....	83
Figura 82. Relojes marcadores a elegir	83
Figura 83. Configuración de combustible	84
Figura 84. Configuraciones de combustible requerido.....	84
Figura 85. Ventana de configuraciones de motor.	85
Figura 86. Configuración “Rev Limiter”	86
Figura 87. Menú de configuración de encendido	86
Figura 88. Rueda fónica 36-2	87
Figura 89. Codificación de la rueda fónica.....	88
Figura 90. Ventana de priming pulse	88
Figura 91. Menú para activación de salidas.....	89
Figura 92. Activación de electro ventilador	90
Figura 93. Calibración del sensor TPS	90
Figura 94. Ventana de calibración del sensor TPS.....	91

Figura 95. Calibración sensor MAP	91
Figura 96. Mapa base de eficiencia volumétrica	92
Figura 97. Mapa de encendido	93
Figura 98. Tabla base VE	94
Figura 99. Mapa base VE	94
Figura 100. Tabla base de avance al encendido	95
Figura 101. Relación Aire combustible	95
Figura 102. Potencia inicial con mapa base	95
Figura 103. Comparación con la potencia dada por ficha técnica.	95
Figura 104. Curva de torque en la primera prueba	96
Figura 105. Torque con un Mapa base	96
Figura 106. Mapa VE aumentando el porcentaje de combustible.....	107
Figura 107. Mapa de encendido	107
Figura 108. Curva AFR	108
Figura 109. Aumento de potencia	108
Figura 110. Comparativa de potencia	108
Figura 111. Curva comparativa con el mapa base	108
Figura 112. Comparación de torque	109
Figura 113. Mapa VE final	110
Figura 114. Mapa final de adelante al encendido	110
Figura 115. AFR lineal optimizada	110
Figura 116. Aumento de potencia final	111
Figura 117. Comparación de potencias	111
Figura 118. Comparación de torques	111

Figura 119. Comparación de torque de las diferentes pruebas.	112
Figura 120. Circuito en donde se realizaron las pruebas.....	115
Figura 121. Recipiente graduado de 1lt de combustible.....	115
Figura 122. Revoluciones máximas para la prueba de consumo	116
Figura 123. Volumen sobrante tras las pruebas realizadas.....	116
Figura 124. Comparación de consumo tras cada reprogramación	118
Figura 125. Analizador de gases AGS-688.....	119
Figura 126. Ordenador del equipo	119
Figura 127. Equipo de medición	120
Figura 128. Sonda de gases.....	120
Figura 129. Toma de RPM.....	120
Figura 130. Conectores para mediciones.....	120
Figura 131. Comparación de monóxido de carbono.....	124
Figura 132. Comparación de monóxido de carbono a 6500	125
Figura 133. Comparativa de dióxido de carbono.....	125
Figura 134. Comparación de CO2 en las 3 diferentes pruebas.....	126
Figura 135. Comparación de hidrocarburos.....	126
Figura 136. Prueba de hidrocarburos a régimen medio.....	127
Figura 137. Datos de O2 de cada reprogramación.....	127
Figura 138. Datos de O2 a medio régimen.....	128
Figura 139. Análisis de NO posterior a cada reprogramación.....	128
Figura 140. Análisis de NO a medio régimen.....	129

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable independiente.	9
Tabla 2. Operacionalización de la variable dependiente.	10
Tabla 3. Metodología de la investigación	13
Tabla 4. Características técnicas del motor KTM 250 cc	60
Tabla 5. Características del prototipo de motocicleta STOLIKA.....	61
Tabla 6. Funciones especiales de un multímetro automotriz	61
Tabla 7. Componentes, rango y resolución de medidas	63
Tabla 8. Características de dinamómetro.....	63
Tabla 9. Valores de funcionamiento del sensor TPS	64
Tabla 10. Datos técnicos del sensor MAP + IAT	66
Tabla 11. Características del sensor ECT.....	67
Tabla 12. Características del sensor CKP.....	68
Tabla 13. Características del inyector	69
Tabla 14. Características de la bomba de combustible.....	70
Tabla 15. Características técnicas de ECU MICROSQUIRT	71
Tabla 16. Especificaciones de cada cable de la MICROSQUIRT.	72
Tabla 17. Instalación de componentes periféricos.	74
Tabla 18. Instalación de sensores y actuadores	77
Tabla 19. Instalación de software.....	78
Tabla 20. Creación de un nuevo proyecto	81
Tabla 21. Pruebas de mapa base	94
Tabla 22. Potencia, torque, y AFR en función de las RPM	96

Tabla 23. Segunda prueba con mapa mejorado	107
Tabla 24. Potencia, torque AFR	109
Tabla 25. Afinamiento y optimización mapas VE y avance al encendido.....	110
Tabla 26. Tabla de datos en función a RPM y AFR	112
Tabla 27. Comparativa de aumento de potencia.....	113
Tabla 28. Aumento de torque en cada una de las pruebas.....	114
Tabla 29. Consumo de combustible.....	117
Tabla 30. Datos de la segunda prueba de consumo	117
Tabla 31. Tercera prueba de combustible.....	118
Tabla 32. Equipos de medición utilizados	119
Tabla 33. Emisiones de gases en ralentí 1500 rpm con el mapa base	122
Tabla 34. Emisiones de gases a 6500 rpm	122
Tabla 35. Emisiones de gases en ralentí 1500 rpm	122
Tabla 36. Emisiones de gases a 6500 rpm	123
Tabla 37. Emisiones de gases en ralentí 1500 rpm	123
Tabla 38. Emisiones de gases a 6500 rpm	124
Tabla 39. Recursos humanos participes del proyecto de investigación	130
Tabla 40. Componentes tecnológicos utilizados	131
Tabla 41. Recursos materiales utilizados durante el proyecto	132
Tabla 42. Recursos económicos	133

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Rendimiento mecánico	20
Ecuación 2. Masa real de mezcla.....	21
Ecuación 3. Rendimiento volumétrico	21
Ecuación 4. Masa de aire desplazada.....	22
Ecuación 5. Tasa de desplazamiento de aire.....	23
Ecuación 6. Ciclo de trabajo del inyector.....	24
Ecuación 7. Eficiencia volumétrica por flujo másico de aire	25
Ecuación 8. Índice de flujo de combustible.....	26
Ecuación 9. Masa de combustible necesaria por masa de aire.....	27
Ecuación 10. Masa de combustible entregado por inyector	28
Ecuación 11. Índice de flujo en el riel	29
Ecuación 12. Tiempo de duración de chispa.....	31
Ecuación 13. Masa de aire	97
Ecuación 14. Eficiencia volumétrica.	99
Ecuación 15. Velocidad de ingreso de aire al motor	100
Ecuación 16. Masa de combustible a suministrar.	101
Ecuación 17. Consumo específico de combustible.	103
Ecuación 18. Tiempo de apertura del inyector	103
Ecuación 19. Ciclo de trabajo.....	104

RESUMEN

El trabajo de titulación está enfocado en el aumento de potencia y torque de un motor de cuatro tiempos de combustión interna KTM 250 cc para el V certamen de la competición internacional MOTOSTUDENT, llevada a cabo en octubre del 2018. Al variar los parámetros característicos, tales como cantidad de combustible suministrado y adelanto a la ignición. Se seleccionó componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, con el propósito de brindar fiabilidad en el exigente entorno de la competición, se instaló los componentes del sistema de inyección programable. Utilizando software especializado se reprogramó la ECU microsquirt ingresando valores fundamentales para el desempeño del motor de combustión interna en base a la adecuada selección de mapas tridimensionales para posteriormente ser verificados a través del uso de dinamómetro. se realizó cálculos correspondientes donde se obtiene un aumento sustancial de potencia y torque. De esta manera el motor de combustión interna elevó considerablemente sus prestaciones, sin manipular ningún componente interno mecánico capaz de competir a la par con las mejores 48 universidades del mundo, siendo de esta manera la primera universidad ecuatoriana, en obtener un puesto N.- 13 en el desarrollo tecnológico, estando por encima del resto de universidades latinoamericanas, que participaron en este evento.

PALABRAS CLAVE:

- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**
- **COMPETENCIA MOTOSTUDENT**
- **MOTORES - POTENCIA**
- **MOTORES - TORQUE**

ABSTRACT

The research project is focused on the increase of power and torque of an internal combustion engine KTM 250 cc for the V competition of the international competition MOTOSTUDENT. By varying the characteristic parameters, such as injection and ignition. Electrical, electronic and mechanical components were selected, with the purpose of providing reliability in the demanding environment of the competition, the components of the programmable injection system were installed. Using specialized software, the microsquirt ECU is reprogrammed by entering fundamental values for the performance of the internal combustion engine based on the adequate selection of three-dimensional maps to be subsequently verified through the use of a dynamometer. Corresponding calculations were made where a substantial increase in power and torque is obtained. In this way, the internal combustion engine increased its performance, without manipulating any mechanical component capable of competing with the best 48 universities in the world, thus being the first Ecuadorian university to obtain a position No. 13 in the technological development, being above the rest of Latin American universities, that participated in this event.

KEYWORDS:

- **MOTORES DE COMBUSTION INTERNA**
- **COMPETICION MOTOSTUDENT**
- **MOTORES - POTENCIA.**
- **MOTORES - TORQUE.**

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250cc PARA LA COMPETENCIA MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT”.

1.1. Antecedentes Investigativos

MOTOSTUDENT es una competición de motociclismo de modalidad GP desarrollada cada dos años, cuyos participantes son estudiantes de universidades de todo el mundo con el objetivo de demostrar los conocimientos y desarrollos tecnológicos, en octubre de 2018 se llevó a cabo la V edición del concurso internacional que tendrá lugar en Alcañiz España en el circuito de MotorLand el cual cuenta con la participación de 58 universidades, entre ellas 2 de procedencia brasileñas 1 mexicana y 1 ecuatoriana.

(Fundation Moto Engineering [MEF], 2016) declaró que para el V concurso se subdividió en dos categorías, Petrol (motor de combustión interna) y electric (sistema de propulsión 100% eléctrico), El equipo que representa a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga disputa en la categoría Petrol.

Para la evaluación del equipo en competencia existen varios ítems de calificación, en todo el concurso se realizan 5 pruebas las cuales constan del desmontaje de la rueda delantera, el desmontaje del carenado, prueba de aceleración, prueba de frenado, y una prueba de resistencia de la estructura. (MEF, 2017)

El IV concurso realizado en el año 2014 la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga desarrollo su prototipo de motocicleta GP, la cual fue fabricada por 7 estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz

Precisamente (Loor & Mendez, 2015) se enfocaron “en una programación para el recálculo de las curvas características de los sensores de posición del acelerador TPS y velocidad del motor CKP, obteniendo de esta manera un aumento en el rendimiento de nuestro prototipo” (p. 17).

Con la construcción del prototipo de motocicleta que se elaboró para la competición en 2014 (Echeverría , 2014) manifiesta que “se obtuvo el 3er lugar en innovación, 5to en plan de negocios, 11vo en negocios y 16to en carrera”(p.41), es por esto que para el V certamen se ha optado por un sistema de gestión programable en ignición e inyección, con una interfaz sencilla y amigable y donde se puedan variar parámetros de forma inmediata y efectiva.

1.2. Planteamiento del problema.

Al aplicar la electrónica automotriz en motores de combustión interna, el uso de

ECUs programables es el procedimiento indicado para aumentar los parámetros característicos de un motor, modificando los mapas de inyección e ignición, con el fin de optimizar el desempeño mecánico, controlar emisiones, entre otros aspectos, sin alterar elementos mecánicos.

Con el manejo de software dedicado, y la configuración apropiada, se plasma los resultados sobre un dinamómetro de rodillos, conjuntamente con investigaciones relevantes a reprogramación de computadoras y a parámetros fundamentales de un motor a combustión interna se logra innovar tecnológicamente en el ámbito de la competición, con el fin de desarrollar un motor, repotenciado, eficiente y confiable.

Por lo que el problema a investigar es: “El desempeño mecánico del motor de combustión interna 250cc para la competencia MOTOSTUDENT al implementar un sistema programable microsquirt”

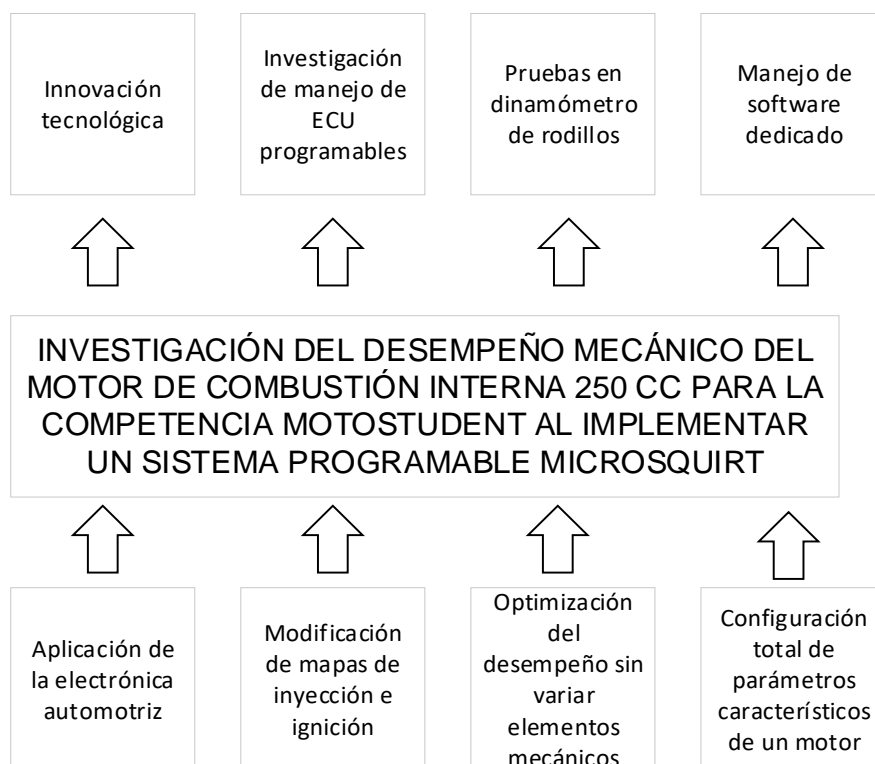


Figura 1. Planteamiento del problema esquematizado

La figura 1 muestra el planteamiento del problema esquematizado en donde se observa los problemas con sus respectivas soluciones, para la implementación de un sistema programable microsquirt, con el objetivo principal de aumentar los valores de potencia y torque.

1.3. Descripción resumida del proyecto

El proyecto de investigación, se basó la búsqueda de información en fuentes bibliográficas totalmente fiables, así como artículos científicos, publicaciones en sitios web revistas indexadas, libros digitales, manuales del fabricante y el reglamento técnico del V certamen de la competencia MotoStudent, con el fin de garantizar su perfecto análisis, funcionamiento y proceso de construcción.

Se analizó el reglamento vigente que establece la organización, con el fin de dominar los elementos eléctricos, electrónicos válidos para el empleo en cuanto a los sistemas de alimentación y encendido.

Se seleccionó elementos eléctricos, electrónicos que garanticen el perfecto funcionamiento, en todas las condiciones de trabajo que se encuentre, en la cual se consideró los aspectos económicos, funcionales y de rendimiento.

Se implementó un sistema programable, como también, los componentes eléctricos y electrónicos que sean necesarios para su correcto funcionamiento, como son sensores, actuadores entre otros.

Con la creación de mapas base de ajuste de inyección y avance al encendido, se efectuó pruebas de potencia, torque, consumo y emisiones de gases, con el fin de obtener valores iniciales en condiciones normales.

Con los valores iniciales se calculó, todos los parámetros requeridos y fundamentales para la optimización del tiempo de inyección, avance al encendido y correcciones barométricas, como son: relación aire combustible, flujo másico de aire, eficiencia volumétrica por flujo de aire, índice de flujo de aire, masa de combustible necesaria, entre otros.

Se elaboró mapas de inyección, avance al encendido y corrección barométrica, eficientes para optimizar los parámetros de potencia, torque, consumo y emisiones de

gases contaminantes.

Se realizó las diversas pruebas pertinentes sobre un dinamómetro, con el fin de realizar ciertas correcciones en la calibración de la ECU y tomar valores finales posteriores a la reprogramación, como son números de potencia, torque, consumo, y emisiones contaminantes.

Se comparó valores iniciales en condiciones normales y posteriores a la reprogramación, utilizando tablas comparativas, diagramas de dispersión, histogramas y diagrama de barras.

1.4. Justificación e importancia

La presente investigación se desarrolló, con el fin de incursionar en aplicaciones de la electrónica automotriz, en la implementación de un sistema de gestión programable el cual incrementa valores de potencia y torque en un prototipo de motocicleta de competición tipo GP.

Al modificar parámetros característicos del motor a combustión interna con el uso de componentes eléctricos, electrónicos y el empleo de tecnología de punta se consiguió aumentar la potencia sin alterar componentes mecánicos, hallando de esta manera una combustión mucho más eficiente.

Con el compromiso de desarrollar un proyecto fiable, se investigó formas eficientes

y económicas, que permitan incrementar la potencia de forma más sencilla y con una interfaz amigable, dependiendo el medio en donde se desarrolle la competencia.

Al existir la competencia internacional MotoStudent, desarrollada en Aragón España, fue fundamental la participación de la carrera Ingeniería automotriz, al ser el único equipo ecuatoriano participante, ya que se adquirió nuevos conocimientos sobre componentes de control electrónico de motor, utilizando componentes sofisticados con el fin de aumentar el rendimiento de los motores.

Se comprobó que la investigación realizada, al utilizar un sistema programable eleva los valores de potencia, torque, que son verificados con el empleo de equipos de medición adecuados, así como el dinamómetro de rodillos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general.

- Investigar el desempeño mecánico del motor a combustión interna 250 cc para la competencia MOTOSTUDENT al implementar un sistema programable microsquirt.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Obtener información de fuentes bibliográficas confiables, tales como artículos

científicos para la reprogramación de ECUs.

- Determinar los componentes electrónicos necesarios que cumplan con la solicitud de la computadora microsquirt, para el manejo correcto de la gestión motor.
- Implementar el sistema reprogramable MICROSQUIRT configurable desde PC
- Elaborar mapas tridimensionales de inyección y encendido para un funcionamiento en condiciones normales de funcionamiento.
- Realizar la matematización de los parámetros teóricos y mecánicos del motor de combustión interna.
- Configurar los mapas tridimensionales tanto de encendido como de inyección para mejorar el desempeño mecánico.
- Realizar pruebas de desempeño para determinar la potencia, torque consumo de combustible y emisiones posteriores a la reprogramación.
- Desarrollar el análisis comparativo de potencia, torque, consumo, emisiones antes y después de la reprogramación.

1.6. Metas del proyecto.

- A través de la selección de componentes y la reprogramación se obtuvo un incremento sustancial de potencia y torque, de un 15% y 13% respectivamente.
- Mantener mezclas estequiométricas ideales de 14.7 para unas emisiones lo menos contaminantes posibles.
- No incrementar el consumo de combustible en un 5%, cuando se haya logrado llegar a la máxima potencia

1.7. Hipótesis.

¿Al utilizar la unidad de control electrónico microsquirt se mejorará los parámetros de desempeño del motor de combustión interna sin realizar modificaciones mecánicas?

1.8. Variables de la investigación.

1.8.1. Variable independiente.

Sistema programable microsquirt

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente.

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Es el desarrollo de los parámetros característicos de un motor a combustión interna, utilizando centralitas reprogramables para obtener un aumento de potencia y torque	Académica Tecnológica	ECT	V °C	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		IAT	V °C	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		CKP	RPM	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		TPS	V %	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		MAP	V KPa	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		Avance de Encendido	°	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba

CONTINÚA →

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
		Ancho de pulso de Encendido	ms	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		Mapa ignición avance	° %	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
Equipamiento necesario tecnológico, utilizado para el control de centralitas programables, en especial para aquellas que se les utilice en un entorno deportivo	Tecnológico	Mapa A/F	%	Experimental Prueba de laboratorio Medición	Protocolo de prueba
		hardware	Fija programable	Experimental Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
		software	especializado	Experimental Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba

1.8.2. Variable dependiente.

Desempeño mecánico del motor a combustión interna

Tabla 2

Operacionalización de la variable dependiente.

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
Características mecánicas del motor a combustión interna, referente al desempeño del mismo	Tecnológico	Potencia	HP	Experimental Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
		Torque	lb in	Experimental Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
		Consumo	l/km	Experimental Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
		Emisiones	NOx CO ₂ HC	Experimental Prueba de laboratorio	Protocolo de prueba
		Rendimiento	Térmico Volumétrico Mecánico	Experimental Pruebas de laboratorio	Protocolo de prueba

1.9. Metodología de la investigación del proyecto.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se analizó los métodos de estudio que se emplearon, en sus respectivas fases, mediante el siguiente diagrama se establecerá cada uno de ellos.

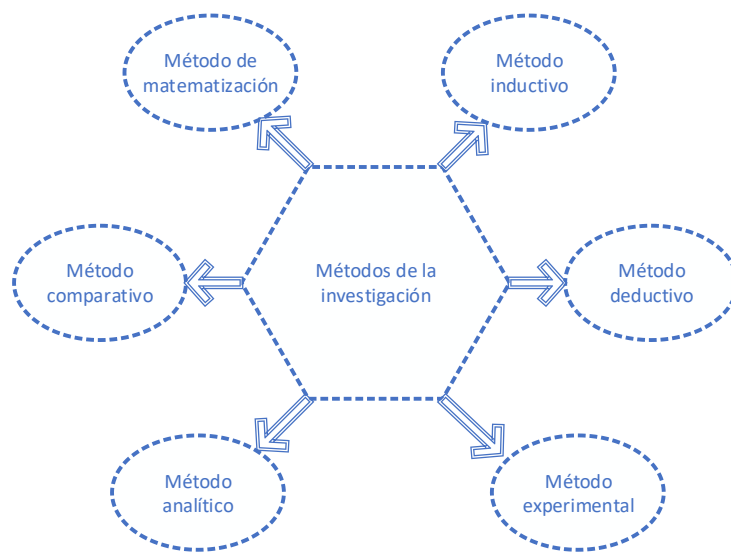


Figura 2. Métodos que se aplicaron en la investigación

1.9.1. Método inductivo

Fue inductivo debido a que se estableció resultados esperados, una vez reprogramado los mapas tridimensionales y realizadas las pruebas de potencia, torque, consumo y emisiones.

1.9.2. Método deductivo

Este método permitió elaborar mapas de inyección e ignición de manera eficiente,

conociendo la mezcla estequiométrica ideal, así como también se pudo conocer el consumo de combustible, con los datos obtenidos de potencia.

1.9.3. Método experimental

Fue experimental debido a que se varió los parámetros de inyección e ignición, posteriormente se realizó ensayos bajo distintas condiciones de trabajo, así como también se verificó los parámetros característicos del motor (potencia, toque consumo, emisiones) y se comprobó el perfecto funcionamiento de los componentes eléctricos seleccionados.

1.9.4. Método analítico

Fue analítico en su mayoría por la necesidad de analizar el comportamiento del motor a combustión interna al variar parámetros característicos, en cuanto a la potencia, torque, consumo.

1.9.5. Método comparativo

Se aplicó el método comparativo, ya que se debió compara los resultados iniciales con los finales, en lo que concierne a potencia, torque, consumo.

1.9.6. Método matematización.

Fue de matematización debido a que se utilizó una serie de ecuaciones en donde,

se empleó de manera eficiente para conocer qué cambios se debe realizar en los parámetros característicos del motor.

Tabla 3

Metodología de la investigación

Táctica o método	Descripción	Instrumentos o equipos	Laboratorio
Método Inductivo	Fue inductivo debido a que se establecerá resultados esperados, una vez reprogramado los mapas tridimensionales y realizadas las pruebas de potencia, torque, consumo y emisiones.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor ktm 250cc • Laptop • Microsquirt • Software TunerStudio MS 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método Deductivo	Este método permitió elaborar mapas de inyección e ignición de manera eficiente, conociendo la mezcla estequiométrica ideal, así como también se pudo conocer el consumo de combustible, con los datos obtenidos de potencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor KTM 250cc • Laptop • Microsquirt • Software TunerStudio 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método experimental	Fue experimental debido a que se varió los parámetros de inyección e ignición, posteriormente se realizó ensayos bajo distintas condiciones de trabajo, así como también se verificó los parámetros característicos del motor (potencia, toque consumo, emisiones) y se comprobó el perfecto funcionamiento de los componentes eléctricos seleccionados.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor KTM 250cc • Laptop • Microsquirt • Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica
Método Analítico	Fue analítico en su mayoría por la necesidad de analizar el comportamiento del motor a combustión interna al variar parámetros característicos, cuanto, a la potencia, torque, consumo.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor ktm 250cc • Laptop • Microsquirt • Software • Dinamómetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de Motores
Método matematización	Fue de matematización debido a que se utilizó una serie de ecuaciones en donde, se empleó de manera eficiente para	<ul style="list-style-type: none"> • Laptop 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de Motores

CONTINÚA →

Táctica o método	Descripción	Instrumentos o equipos	Laboratorio
	conocer qué cambios se debe realizar en los parámetros característicos del motor		
Método comparativo	Se aplicó el método comparativo, ya que se debió compara los resultados iniciales con los finales, en lo que concierne a potencia, torque, consumo.	<ul style="list-style-type: none"> • Motor KTM 250cc • Laptop • Microsquirt • Software • Dinamómetro • Wideband 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Autotrónica • Laboratorio de Motores

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

(MEF, 2017) comenta que, Conjuntamente con TechnoPark MotorLand promueven la competencia internacional de MotoStudent, un desafío entre los equipos de estudiantes universitarios de todo el mundo. El objetivo de los estudiantes es aplicar todos los conocimientos adquiridos durante sus estudios universitarios en un proyecto industrial real, diseñando, desarrollando y fabricando un verdadero prototipo de moto de carreras, que será evaluado y probado en el Circuito FIM de MotorLand Aragón. Hay dos categorías:

- MotoStudent Petrol (motor de combustión interna).
- MotoStudent electric (sistema de propulsión 100% eléctrico).

2.2. Motocicletas de competición.

Según (Loor & Mendez, 2015) “las motos deportivas, tienen muchas ventajas tanto para el uso en vía pública como en pista de carrera, esto se debe a que una motocicleta de velocidad es una derivación de las motocicletas deportivas”.

Una característica principal es que en su mayoría van equipadas de un carenado. El carenado básicamente es el revestimiento realizado con fibra de vidrio, fibra de

carbono, plástico u otros materiales que se adapta al chasis, todo esto con la finalidad de mejorar su aerodinámica, dando como resultado altas velocidades (250Km/h aprox.); su eficiencia aumenta al tener una excelente relación peso potencia; todas estas ventajas son el resultado de la combinación de un motor de alto cilindraje con una construcción de materiales ligeros.



Figura 3. Motocicleta tipo GP

Fuente: (KTM, 2018)

2.3. Motor a combustión interna.

El motor de un cilindro tiene aplicaciones en general para vehículos pequeños como motocicletas, motocultores y motores fijos de accionamiento de compresores, bombas de agua, etc. Dentro del cilindro se realiza la explosión de la mezcla y gasolina facilitada por el sistema de alimentación (aire, carburador, inyección); la enorme fuerza expansiva se convierte en energía de biela-manivela. Dentro del cilindro y ajustándose a sus paredes se desliza arriba y abajo un pistón enlazado por una biela articulada esta a su vez manivela o codo del cigüeñal, eje de giro cuya rotación es la que se lleva hasta las ruedas. (Ocaña, 2003, pág. 54)

Un motor de combustión interna cumple con un ciclo de trabajo el cual está dividido por tiempos de trabajo, Cada uno de estos tiempos se da de una forma perfectamente

sincronizada en su mecánica, la cual, si trabaja de una forma perfecta, este motor funcionara de forma correcta, optima y con pérdidas por agentes externos mínima, los tiempos de trabajo son los siguientes.

- Admisión
- Compresión
- Explosión
- Escape.

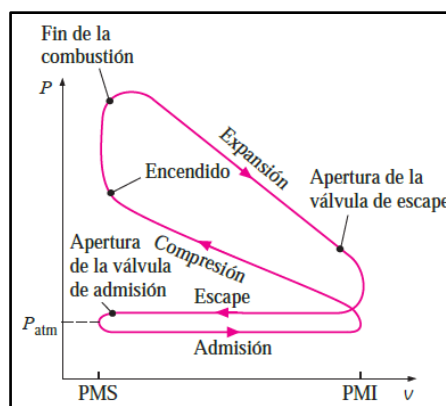


Figura 4. Ciclo práctico de un motor a combustión interna

Fuente: (Cengel & Boles, 2018)

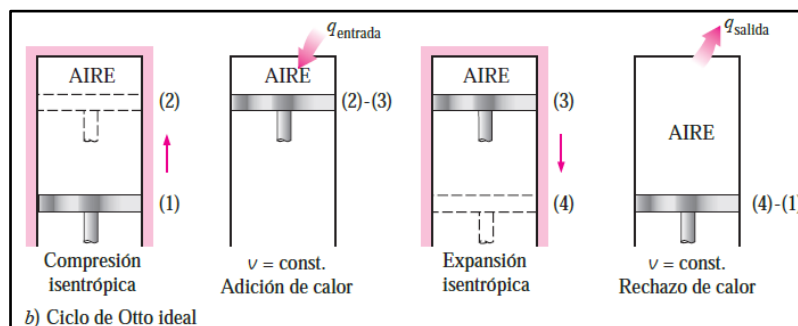


Figura 5. Ciclo termodinámico de un motor a combustión interna

Fuente: (Cengel & Boles, 2018)

2.4. Parámetros fundamentales y curvas características de un motor a combustión interna

2.4.1. Par efectivo

(González, 2015) menciona que, “el par efectivo del motor en funcionamiento del régimen de giro es uno de los parámetros más importantes ya que con él se genera la curva de potencia efectiva. El par en general se define como el producto de una fuerza F que actúa perpendicularmente sobre un objeto que puede girar alrededor de un eje de giro que está a una distancia D ”. (p. 39)

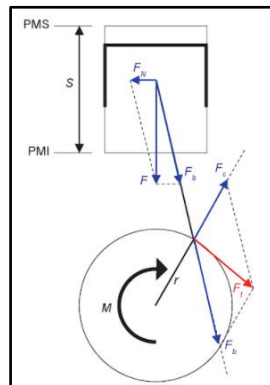


Figura 6. Descomposición de fuerzas

Fuente: (González, 2015)

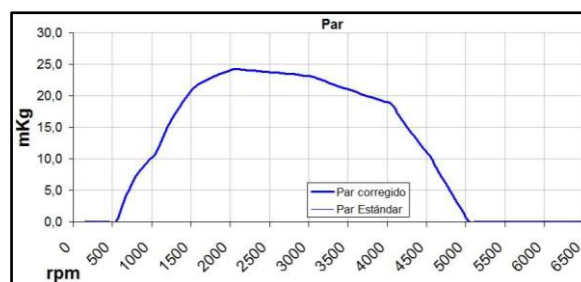


Figura 7. Curva característica de par motor

Fuente: (Seat, 2011)

2.4.2. Potencia efectiva

(Crouse, 2001) define el termino potencia al freno viene de que el primer dispositivo empleado para medir la potencia desarrollada por un motor fue el freno de prony. Para averiguar la potencia máxima que puede desarrollar un motor a cualquier velocidad, se aumenta gradualmente la carga (debe aumentar más y más la abertura de la mariposa para tener una velocidad constante) hasta que la mariposa este totalmente abierta. La carga máxima leída es la escala se utiliza entonces en la siguiente formula, que nos da la potencia que desarrollo el motor. (p. 60)



Figura 8. Medición de potencia en dinamómetro de rodillos

Fuente: (DimSport, 2018)

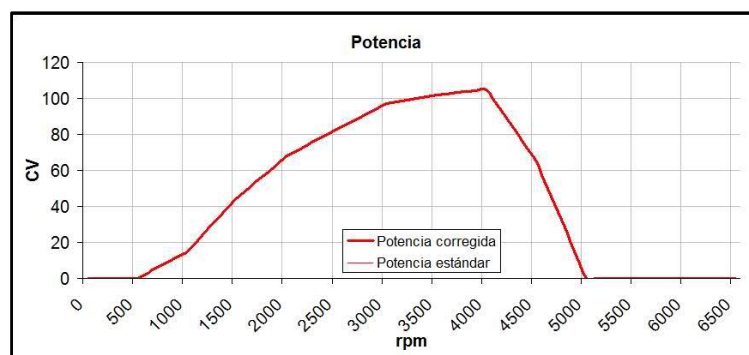


Figura 9. Curva característica de potencia

Fuente: (Seat, 2011)

2.5. Rendimiento mecánico

(Basshuysen & Schaefer, 2004) manifiesta que, “el rendimiento mecánico se define como la relación entre eficiencia efectiva y la eficiencia indicada y lo señala con la siguiente formula”.

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

Ecuación 1. Rendimiento mecánico

Donde:

N_m = Rendimiento mecánico

N_e = Eficiencia efectiva

N_i =eficiencia indicada

2.6. Rendimiento volumétrico

(Basshuysen & Schaefer, 2004) declara que, 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. (p.42)

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

$$m_r = m_a + m_c$$

Ecuación 2. Masa real de mezcla

Donde:

m_r : = Masa real de mezcla

m_a = Masa real de aire

m_c = Masa real de combustible

2.7. Rendimiento térmico

(Crolla, 2009) manifiestan que, el rendimiento térmico 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. (p. 29)

$$\eta_t = \frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}}$$

Ecuación 3. Rendimiento volumétrico

Donde:

η_t = Rendimiento térmico

q_{in} = Calor de entrada

q_{out} = Calor de salida

2.8. Cálculo de parámetros fundamentales

2.8.1. Masa de aire desplazada

(Banish, 2007) manifiesta que, la carga y la eficiencia volumétrica son dos métodos usados para describir el flujo másico de aire a través del motor, comparado con el flujo másico teórico basado en su desplazamiento y la velocidad. La cantidad teórica de llenado de carga es la masa de aire que ocuparía el mismo volumen que el motor desplaza. (p. 13)

$$M_{aire,motor} = (V_{motor})(\delta_{aire})$$

Ecuación 4. Masa de aire desplazada

Donde:

V_{motor} = Volumen del motor

δ_{aire} =Densidad atmosférica normal

El estudio de (Banish, 2007) asegura que el llenado teórico es calculado a presión y temperatura estándar, donde la densidad δ_{aire} es igual a 1,2929 kg/m³. Para encontrar la velocidad de flujo, se normaliza para el número de desplazamientos completos sobre el tiempo. Un motor de 4 tiempos tiene 2 revoluciones por ciclo de desplazamiento, así que el índice de desplazamiento es la mitad de la velocidad del motor, con lo que se puede calcular un llenado teórico del 100%. (p. 11)

$$M = (V_{motor})(\delta_{aire}) * \frac{RPM}{2}$$

Ecuación 5. Tasa de desplazamiento de aire

Donde:

V_{motor} = Volumen del motor

δ_{aire} = Densidad del aire

(Banish, 2007) menciona que, al cerrar la mariposa de aceleración para reducir el flujo de aire y la potencia, al motor solo se le permite desplazar una fracción de la masa de aire. Esto significa que la posición de la mariposa de aceleración reducida conlleva a una disminución de la eficiencia volumétrica. La carga típica de un motor es del 10 al 18% en ralentí. La conducción en carretera o autopista sucede en aproximadamente un 20% a 30% de carga. Una ligera aceleración va del 30 al 60% de carga. Con la mariposa totalmente abierta la carga esta entre 60 y 105% para motores de aspiración natural. (p.14)

2.9. Relación aire combustible

(Banish, 2007) menciona que la combustión estequiométrica de la gasolina ocurre en una relación de 14,68:1, pero la combustión puede ocurrir en cualquier punto entre 7,5:1 y 26:1. Esto deja un gran rango de condiciones de operación. Generalmente una mezcla rica (exceso de combustible, $\lambda < 0,9$) se quema más fría con emisiones de hidrocarburo, mientras que una mezcla ligeramente pobre (exceso de aire, $\lambda \approx 1,05$) se quema más caliente con emisiones de óxidos de nitrógeno. (p. 14)

Para la mayor potencia, se ha encontrado que un punto entre 13,2:1 y 13,4:1 ($\lambda \approx 0,95$) es ideal. Ese pequeño exceso de combustible es suficiente para asegurar que tantas moléculas de oxígeno como sea posible reacciona para proporcionar energía. Para la mejor economía se observa al otro lado del balance estequiométrico, con un objetivo de $\lambda \approx 1,05$ (aproximadamente 15,5:1).

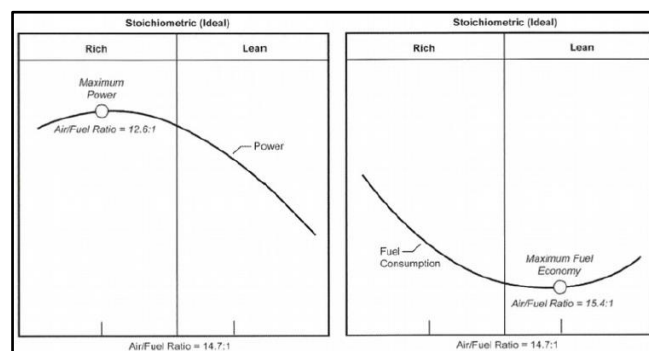


Figura 10. Relación de potencia, con varias mezclas estequiométricas

Fuente: (Banish, 2007)

2.10. Consumo específico de combustible

En cualquier punto de operación, el combustible requerido por un motor puede ser descrito en términos de potencia. El Consumo Específico de Combustible (Break Specific Fuel Consumption, BSFC), es la cantidad de combustible necesario para crear la potencia requerida. Sus unidades son lb/hp-hr y se utiliza un valor entre 0.42 y 0.5 para motores de gasolina de aspiración natural. (Banish, 2007)

$$CT = \frac{ti}{ti \times tc} 100$$

Ecuación 6. Ciclo de trabajo del inyector

Donde:

N_e = Potencia efectiva

G_h = Gasto de combustible horario

T_e = Torque efectivo

G_e = Consumo específico

n = Revoluciones

2.11. Flujo másico de aire

Los sistemas de flujo másico de aire dependen en gran medida de la señal del sensor MAF. La salida de este sensor se toma como una representación directa del flujo de aire actual del motor. Este enfoque hace que los cálculos de carga del motor y combustible requerido sean muy sencillos, en donde la eficiencia volumétrica viene dada por.

$$VE = \frac{MAF}{V_{motor} \rho_{stp} RPM}$$

Ecuación 7. Eficiencia volumétrica por flujo másico de aire

Donde:

MAF= Es el flujo másico de aire

V_{motor} = La cilindrada del motor

ρ_{stp} = Densidad del aire a temperatura y presión estándar.

Conociendo el flujo de aire exacto, el cálculo de consumo de combustible se establece de la siguiente forma.

$$F_{fr} = MAF AFR_D$$

Ecuación 8. Índice de flujo de combustible

Donde:

F_{fr} = Es el índice de flujo de combustible

AFR_D = Es la relación aire combustible deseada

2.12. Speed density

(Banish, 2007) menciona que este método calcula la masa de aire entrante basándose en la temperatura, la presión del múltiple y la velocidad del motor usando una tabla de referencia de eficiencia volumétrica. Dicha tabla usualmente muestra valores de presión absoluta del múltiple de admisión VS velocidad del motor. Los valores contenidos en esta tabla representan un porcentaje del llenado volumétrico por la presión del múltiple y la velocidad del motor. La centralita utiliza los valores de presión y temperatura para calcular la masa de aire de entrada con la ley universal de los gases: $PV = nRT$. Una vez que la masa de aire entrante es calculada, se puede determinar un índice de flujo de combustible correspondiente.

En el estudio de (Banish, 2009) las correcciones de temperatura también son críticas en los sistemas de speed density. Los cambios en la temperatura en la admisión tienen un efecto significativo en la masa de aire entrante para un volumen y presión determinadas. La ley de los gases de Boyle tiene un importante efecto. Una vez que se tiene las tablas de eficiencia volumétrica construidas a una temperatura estable se deben realizar pruebas para

desarrollar curvas de compensación. Adicionalmente los cambios de componentes del motor, como el árbol de levas, el múltiple de admisión o un supercargador, pueden tener efectos drásticos en la eficiencia volumétrica. Cualquier cambio que mejore el flujo de aire al motor requiere de un cambio en la tabla base de eficiencia volumétrica para que el motor mantenga la misma entrega de combustible.

2.13. Entrega de combustible

(Banish, 2009) menciona que una vez que la computadora sabe cuál es la masa de aire entrante, es posible calcular cual es la masa de aire deseada para ajustarse al objetivo de relación aire combustible. Primero se calcula la masa de combustible deseada para entregar. (p.27)

$$M_{combustible} = \frac{M_{in\ aire}}{ARF_d \cdot RPM}$$

Ecuación 9. Masa de combustible necesaria por masa de aire

Donde:

$M_{in\ aire}$ = Masa del flujo de entrada de aire

ARF_d = Relación de aire combustible deseada

Posteriormente para el cálculo del combustible necesario entregado al motor se lo puede realizar mediante esta fórmula

$$N = \frac{60000}{2 \times I \times T} M_{combustible} = \frac{[V_{fi} * P_w * 120]}{RPM}$$

Ecuación 10. Masa de combustible entregado por inyector

Donde:

V_{if} = Velocidad de flujo de inyector

P_w = Ancho de pulso

Una vez determinado la masa de combustible, se puede calcular la salida del inyector. De estas ecuaciones postuladas lo que se puede determinar el ancho de pulso del inyector o el ciclo de trabajo.

(Banish, 2007) en su investigación menciona que es imposible obtener un ciclo de trabajo del 100%. Si el ancho de pulso se iguala con el tiempo entre eventos de encendido, esto significaría que el inyector nunca se cierra. Esta situación se conoce como 'flujo estático' porque la duración de la inyección de combustible no cambia. Ocurre cuando el inyector no puede soportar el flujo de combustible necesario para operar la potencia del motor.

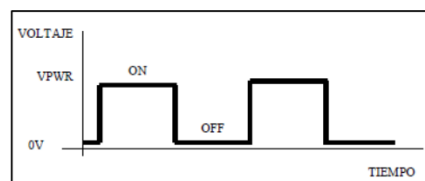


Figura 11. Señal de ciclo de trabajo o PWR

Fuente: (Alangasi & Utreras, 2014)

Es por esta razón que los cambios de presión que ocurren en el riel de combustible, para el índice de flujo están descritos por la siguiente ecuación.

$$R_{fa} = R_{fi} \sqrt{\frac{P_{rc}}{P_{cc}}}$$

Ecuación 11. Índice de flujo en el riel

Donde:

R_{fa} = Indica de flujo actual

R_{fi} = Indica de flujo en el inyector

P_{rc} = Presión efectiva del riel

P_{cc} = Presión de combustible considerada

2.14. Sucesos en el momento del encendido

(Banish, 2007) manifiesta que, sincronizar la presión al ángulo de rotación del motor puede tener efectos muy significativos sobre el torque de salida. Existe un punto de pico de presión en cada ciclo de combustión donde la energía disponible es máxima. Antes y después de este punto todavía hay una cantidad significativa de energía contenida en el cilindro con mezcla. El tiempo de encendido controla la eficiencia mecánica del ciclo de combustión. (p. 48)

(Fernández, 2018) manifiesta que existen tres elementos importantes a considerar al momento de realizar avances de encendido, los cuales son los siguientes.

- La ubicación de la bujía, si la bujía no está centrada en la cámara, la combustión recorrerá una mayor distancia y para que sea completa necesaria más tiempo.
- La relación de compresión a mayor compresión y temperatura la mezcla hace combustión más rápido, así que una relación de compresión más alta significara menor adelanto al encendido

- El diámetro del cilindro, entre más grande sea, la llama recorrerá una mayor distancia, necesitando un mayor adelanto de salto de chispa.

(Tinizaray, 2016) establece que, en un sistema de encendido convencional, el adelanto se regula de forma centrífuga a bajas velocidades y por vacío o carga del motor a altas velocidades. De esta forma se conseguía que el motor se mantenga estable desde el ralentí, con un adelanto 15° a 18° , hasta la velocidad de máximo torque y carga que puede requerir más de 40° de avance.

(Tinizaray, 2016) Un sistema de encendido electrónico, que es controlado por una centralita, utiliza una tabla de referencia en la cual se indica el valor del adelanto para diferentes condiciones de velocidad y carga del motor, tal como lo haría el distribuidor, por tanto, dicha tabla esta ordenada por filas que correspondan a las revoluciones del motor y columnas que correspondan a la carga, o viceversa, dependiendo de la programación de la centralita. Cada uno de los valores de dicha tabla recibirá un incremento que puede ser de 1° a 5° , a medida que aumenta la carga y la velocidad.

(Tinizaray, 2016) Una ventaja apreciable que ofrece el sistema de encendido electrónico, es que puede agregar valores altos de adelanto en los cuadros de la tabla que sean anteriores a los de ralentí para que el motor se mantenga estable y su velocidad no decaiga. (p.49), es importante mencionar que esto depende también de la carga de la bobina que se le proporcione, es decir a mayor carga de bobina el tiempo de encendido disminuirá, con el fin de realizar

un quemado óptimo de la chispa.

2.15. Duración de la chispa

(Haltech, 2018) manifiesta que, “con los sistemas de control electrónicos, los conceptos de rpm, ángulo de rotación y tiempo son frecuentemente requeridos para ser relacionados con cálculos que determinan el tiempo máximo de inyección o el tiempo máximo de carga de la bobina”.

Por lo que para el cálculo del tiempo de duración de la chispa se calcula con la siguiente formula.

$$t = \frac{a}{6 * rpm}$$

Ecuación 12. Tiempo de duración de chispa

Donde:

t: Tiempo que dura la chispa en milisegundos

a: Ángulo de giro del cigüeñal

2.16. Sistema de inyección electrónica en una motocicleta

(Nakamura, Sawada, & Hashimoto, 2003) manifiesta que 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

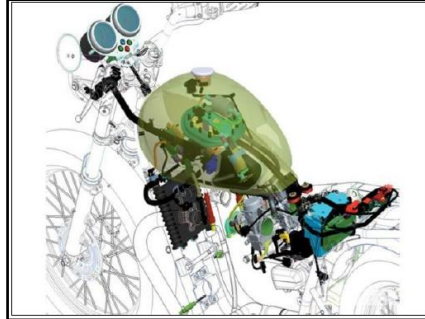


Figura 12. Esquematización de sistema de inyección en una motocicleta

Fuente: (Lopez & Lozada, 2017)

(Nakamura, Sawada, & Hashimoto, 2003) manifiestan que el sistema de inyección de gasolina controlado electrónicamente puede enriquecer la mezcla aire/combustible al momento del arranque, aceleramiento enriquecido, enriquecimiento de mezcla a plena carga, desaceleración fina o lenta, corte de suministro de aceite por pulsos, control de la velocidad en vacío o ralentí para reunir las condiciones adecuadas en estos diferentes modos de operación.

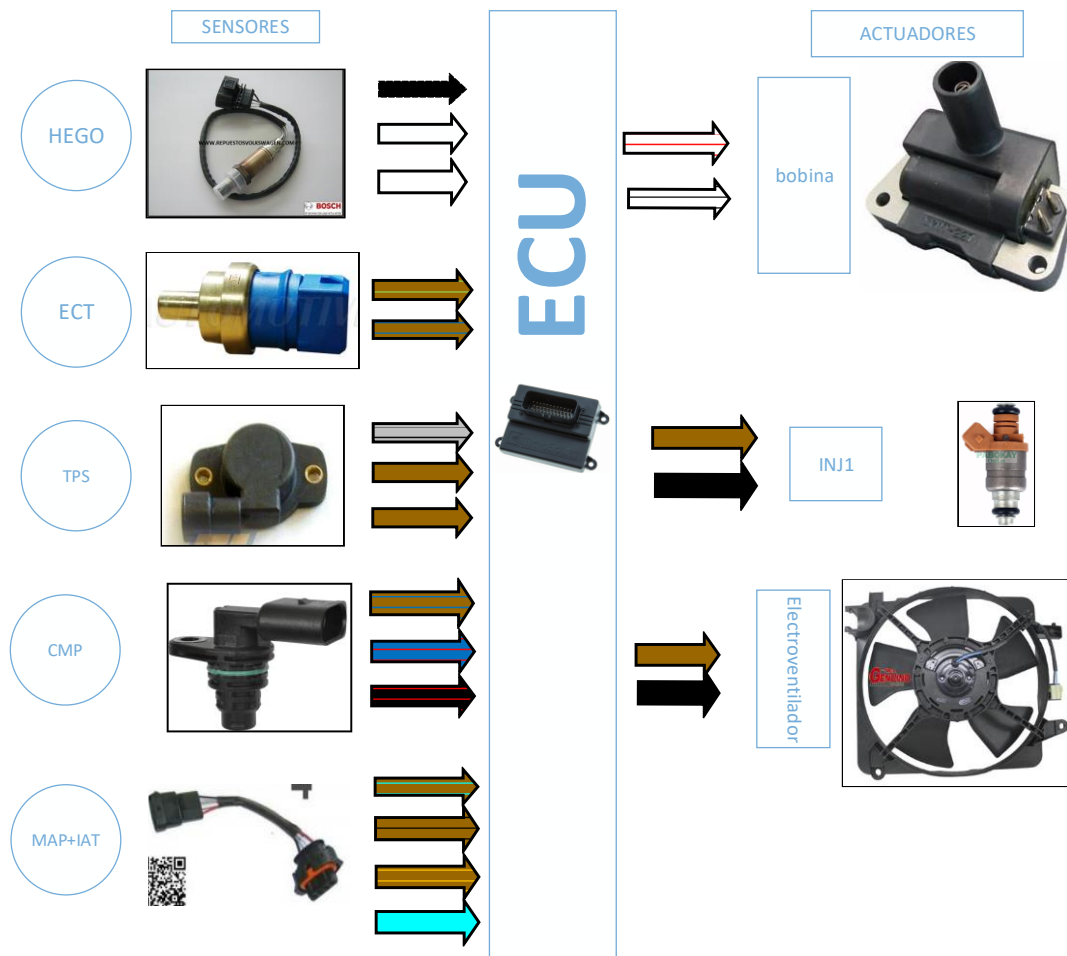


Figura 13. Sistema de inyección electrónica

2.17. Componentes del sistema de inyección electrónica.

Para nombrar cada uno de los elementos que conforman el sistema de inyección electrónica, es necesario saber que sucede en cada punto de todo el sistema motor, es decir se empezara describiendo desde la bomba de combustible, hasta cuando los gases se hayan combustionado y salgan por el tubo de escape.

Se debe tener claro que un sistema de inyección electrónica se divide en dos grupos de elementos electrónicos y eléctricos que son los sensores y los actuadores,

en un motor de motocicleta, es importante tener en cuenta que los sensores son mucho más frágiles, pero a su vez tiene que ser diseñados de mejor calidad debido a que están propensos a soportar, agua, lodos, tierra, entre otros aspectos que el clima ofrece, estos pueden deteriorar con rapidez los elementos electrónicos.

2.18. Sensores

2.18.1. Sensor de temperatura de aire de entrada



Figura 14. Sensor de temperatura de aire de entrada IAT

Fuente: (Bosch, 2018)

(Hamm & Burk, 2018) nos menciona que el sensor de temperatura de aire de entrada es un termistor y en algunos casos viene integrado con el Sensor MAF. Tiene 2 cables: uno de tierra y el otro de señal de 5 voltios. La resistencia es de aproximadamente 100 ohmios cuando el aire está a unos 10° C, y cuando el aire está a unos 130 °C, la resistencia estaría en unos 70 ohmios, indicando de esta manera que cuando aumenta la temperatura, la resistencia interna del transductor, que está localizada en el interior del sensor, disminuye, y de esta forma existe un voltaje inferior entre el voltaje pull-up y la caída de tensión que provoca la disminución de la resistencia del sensor.

2.18.2. Sensor de presión absoluta del múltiple



Figura 15. Sensor presión absoluta del múltiple (MAP)

Fuente: (Bosch, 2018)

En las investigaciones realizadas por (CISE, 2018) se encontró que el sensor MAP (Sensor presión absoluta del múltiple) provee al PCM de una señal correspondiente a la presión absoluta que hay en el múltiple de admisión para calcular la carga motor. Si la presión es baja (mucho vacío) la carga del motor es pequeña y el PCM inyecta poco combustible. Si en cambio la presión en el múltiple es alta (presión atmosférica o próxima a ella) el PCM interpreta que la carga al motor es grande e inyecta más combustible.

Los sensores MAP tienen 3 cables de conexión correspondientes a:

- Alimentación: 5V
- Masa
- Señal: entre 0,6V y 4,7V

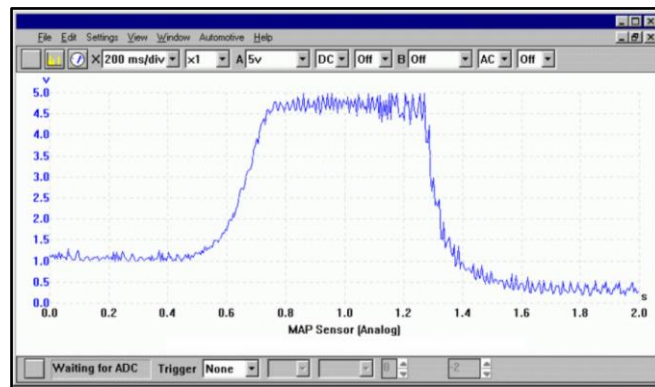


Figura 16. Curva característica del sensor MAP

Fuente: (CISE, 2018)

2.18.3. Sensor de posición de la mariposa de aceleración



Figura 17. Sensor de posición de la mariposa de aceleración

Fuente: (hardwareEFI, 2018)

La investigación de (CISE, 2018) señala que “el sensor de posición de mariposa del acelerador, llamado TPS o sensor TP (del inglés Throttle - Position -Sensor), efectúa un control preciso de la posición angular de la mariposa”.

El ECM toma esta información para poder efectuar distintas funciones, de suma importancia para el correcto funcionamiento de un sistema de inyección electrónica de combustible.

Actualmente el tipo de TPS más utilizado es el potenciómetro. Este consiste en una pista resistiva barrida con un cursor, y alimentada con una tensión de 5 voltios desde el ECM.

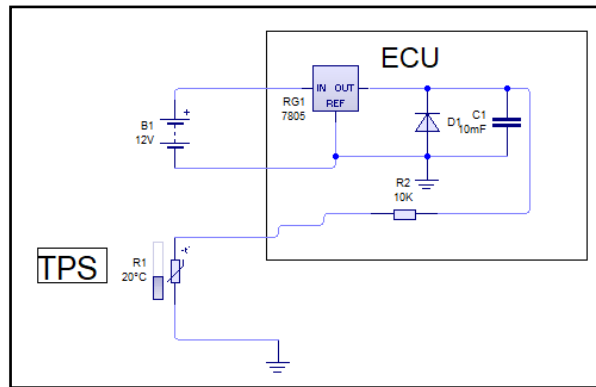


Figura 18. Conexión del sensor TPS a la ECU

La curva característica de un sensor de tipo potenciómetro va de acuerdo al porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración, es decir que mientras más abierta este la mariposa, el voltaje de señal será mayor, como se lo muestra en la siguiente figura.

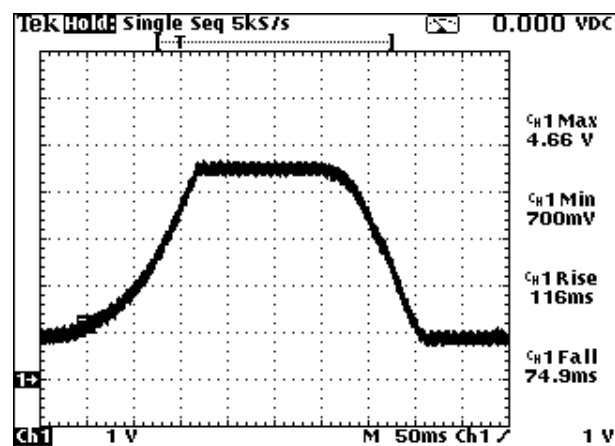


Figura 19. Curva característica de un sensor TPS

2.18.4. Sensor de posición del cigüeñal

El sensor CKP o sensor de rotación del cigüeñal es el encargado de captar la rotación del motor y enviar la información a la ECU.



Figura 20. Ubicación de un sensor CKP

En un estudio de (Borja, 2007) manifiesta que este tipo de sensor (Sensor de Posición del Cigüeñal) consta de un imán permanente que induce un campo magnético a través del cual se le aplica un voltaje de 5v, este campo magnético y esta corriente son interrumpidas cada vez que un diente del volante del cigüeñal pasa cerca del imán del sensor, entonces la señal de 5v es interrumpida varias veces, lo que genera una señal de frecuencia que va de los 0v a los 5v, y esta señal de frecuencia la interpreta la computadora como las revoluciones del volante y por ende la posición de los pistones.(p.26)

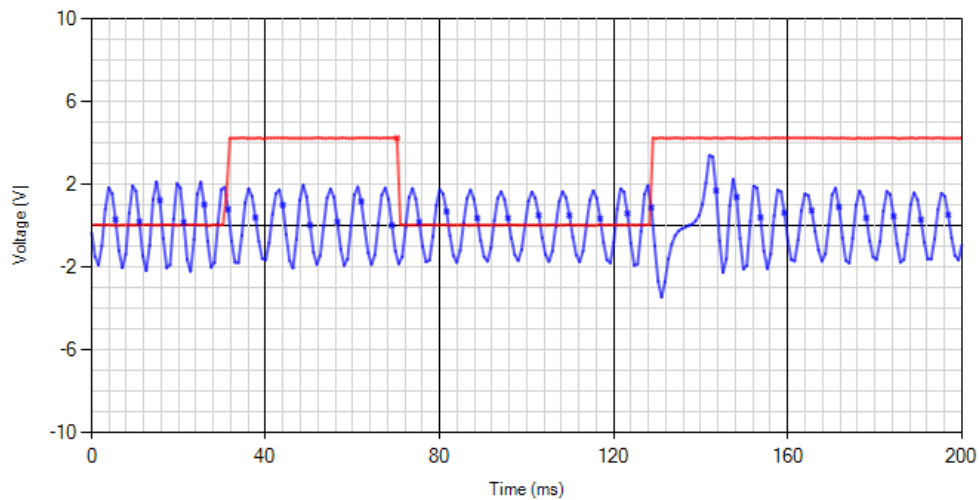


Figura 21. Forma de onda de sensor CKP

2.18.5. Sensor de oxígeno:

(Calderón & Caluguillin, 2018) menciona que tiene como función principal informar a la ECU la cantidad de oxígeno existente en los gases de escape del motor, para que esta, mediante la variación de cantidad de combustible inyectado, garantice una mezcla ideal de aire-combustible, es decir: una mezcla estequiometría ($\lambda = 1$) que equivale a una relación aire / combustible de 14.7: 1. Esto quiere decir, 14.7 partes de aire por una parte de combustible. Un valor λ de 1.05 o mayor significa mezcla pobre, y un λ 0.95 o menor denota una mezcla rica. El buen rendimiento de la inyección y la reducción de los gases contaminantes dependen del funcionamiento del sensor de oxígeno. Como éste, está constantemente expuesto a los gases de la combustión, con el tiempo necesita ser reemplazado. (p.84)



Figura 22. Sensor de oxígeno.

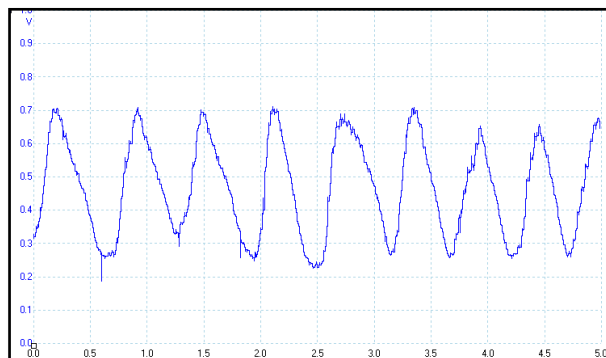


Figura 23. Curva característica del sensor EGO

2.19. Actuadores

2.19.1. Inyector



Figura 24. Inyector

Fuente: (Bosch, 2018)

El estudio de (Calderón & Caluguillin, 2018) menciona que: “Este componente del sistema de inyección es el encargado de inyectar el combustible al interior del cilindro. Los inyectores pulverizan la gasolina dentro del múltiple de admisión en sincronización con la apertura de las válvulas las cuales permiten el ingreso del combustible a los cilindros de acuerdo a los requerimientos del vehículo. Los inyectores electrónicos se abren por medio de un solenoide eléctrico, y se cierran con un resorte; los inyectores continuos se abren, por la presión del combustible. Los inyectores también se denominan válvulas de inyección”. (p.33)

(Calderón & Caluguillin, 2018) manifiesta que “En los sistemas multipunto existen un inyector por cada cilindro, los cuales se encuentran ubicados de tal forma que rocíen el combustible dentro del conducto de admisión, cerca de las válvulas de admisión. Los sistemas de inyección multipunto usan una galería de combustible a la cual está conectada a todos los inyectores. La presión en esta galería es controlada por el regulador de presión (4.5 bar). Esto significa que la cantidad de combustible que proporciona cada inyector, es regulada por el periodo de tiempo que el módulo de control mantiene el inyector abierto. Este tiempo varía desde 1.5 milisegundos aproximadamente con el motor en baja carga, hasta aproximadamente 10 milisegundos con el motor a plena carga”. (p.34)

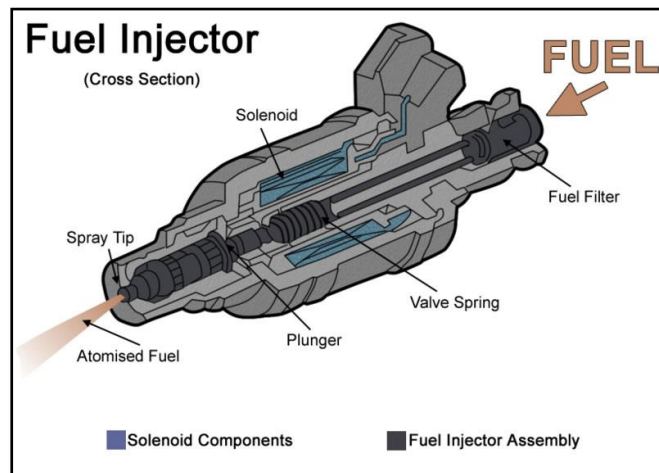


Figura 25. Partes el inyector.

Los actuadores también tienen una curva específica tomada en el osciloscopio, en el caso de los inyectores tiene una curva característica y elementos importantes, que se debe tomar en cuenta para interpretar la gráfica.

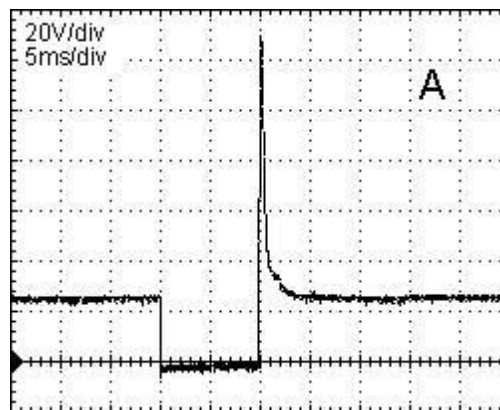


Figura 26. Curva característica de un inyector

- El alto voltaje en (1) es producido por la sobrecarga que ocurre cuando la corriente es cortada y el campo magnético del solenoide del inyector colapsa.
- En (2) es el punto en el cual el módulo de control desactiva el transistor y la corriente deja de fluir. Es el fin del pulso de inyección.

- Este punto (3), representa el periodo de tiempo en el cual el inyector está entregando combustible y cuyo tiempo puede ser determinado verificando la escala en el osciloscopio.
- El punto (4) representa el voltaje entregado al inyector, normalmente de 12 Voltios.
- Finalmente, el punto (5) es el punto en el cual el módulo de control activa el transistor de mando, conectando a tierra el solenoide, e iniciando la inyección de combustible.

2.19.2. Bobina de encendido

(Laica, 2018) nos indica que la bobina en conjunto con el sistema de encendido electrónico, tiene la función de producir la chispa con potencia suficiente para realizar una buena combustión. En los sistemas de encendido comandados directamente por la ECU se distingue un sistema principal y que es el más utilizado, el sistema DIS (Direct Ignition System), del cual se derivan otros sistemas que resultan en la evolución del primero como el sistema COP (Coil on Plug), los cuales son sistemas en los que se elimina completamente el distribuidor y se ejecuta el encendido a través de sensores la ECU y las bobinas de encendido. (p. 37)

Existen varios tipos de bobinas de encendido, pero el uso de las bobinas de este tipo es más frecuente, en motores actuales, debido a su tamaño y ubicación.



Figura 27. Bobina de encendido COP

Fuente: (Bosch, 2018)

2.19.3. Bomba de combustible

En la investigación de (Calderón & Caluguillin, 2018) “la bomba es la encargada de extraer e impulsar el combustible desde el tanque y enviarlo al riel de inyectores. Por lo general, está sumergida dentro del tanque, esto por razones de refrigeración de la misma”. (p. 96)

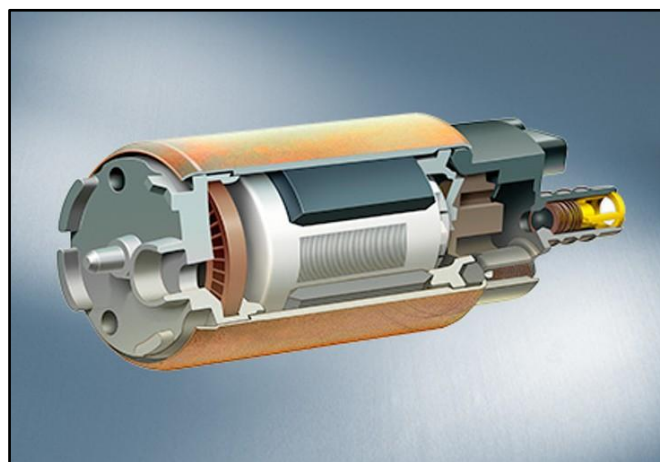


Figura 28. Bomba de combustible para inyección electrónica

Fuente: (Bosch, 2018)

2.20. Sistema de gestión programable microsquirt



Figura 29. Sistema programable microsquirt

Fuente: (MEGASQUIRT, 2016)

Microsquirt es una ECU compacta con la tecnología de una Megasquirt-2, aquí se comparte algunos componentes fundamentales al momento de la instalación de este sistema programable.

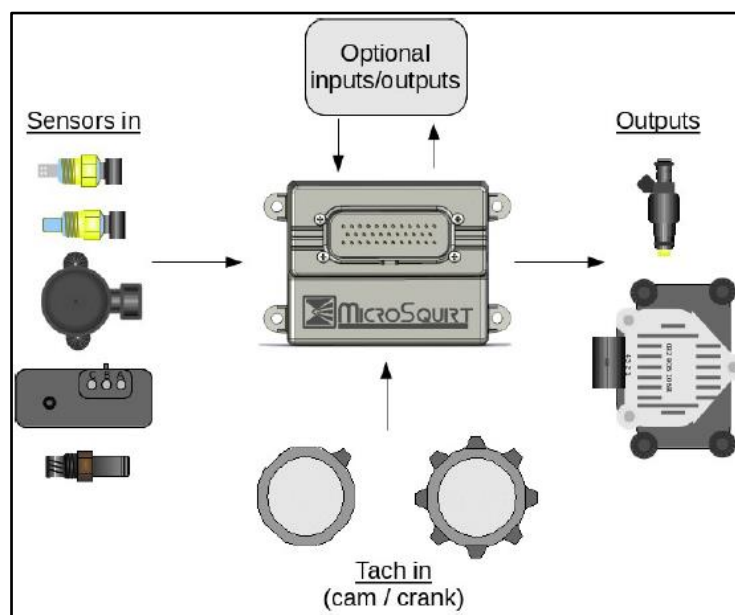


Figura 30. Esquema funcional de la microsquirt

Fuente: (MEGASQUIRT, 2016)

El desarrollo de (MEGASQUIRT, 2016) manifiesta que “la microsquirt recibe señales de varios elementos como sensores y la ECU es la encargada de controlar la inyección y la ignición.

Para motores que de fábrica son de inyección electrónica, es muy favorable, debido que se pueden utilizar los mismos sensores y el mismo cableado para la instalación, y para motores que de fábrica no sean a inyección electrónica, será necesario adaptar algunos componentes, como una rueda fónica, un múltiple de admisión o ITBs.

La microsquirt está diseñada para resistir humedad dentro del vehículo o motocicleta, no está diseñada para que sea utilizada en compartimentos en donde la temperatura sea muy elevada, la temperatura máxima de funcionamiento es de 85°C tampoco es recomendable colocar debajo del asiento de la motocicleta, debido a que pueden saltar piedras o cualquier otro tipo de elemento que pueda romper la ECU, las dimensiones de la microsquirt se las ilustra en la siguiente figura. (p.7)

Los sensores de posición del cigüeñal son muy críticos debido que son los encargados de informar a la ECU la posición del pistón y el tiempo de ignición y el de inyección”.

2.21. Interfaz

La microsquirt usa un cable de interfaz para el tuneo o transferencia de datos con un puesto 2.5 mm como el que se muestra en la siguiente figura.



Figura 31. Cable de transferencia de datos con la PC

Fuente: (MEGASQUIRT, 2016)

(MEGASQUIRT, 2016) menciona que la conexión de los sensores tiene un orden específico, pero es muy importante que todas las masas de los sensores vayan conectadas a la ECU y la misma tendrá una masa central que irá al chasis o al negativo de la batería como se muestra en la siguiente figura.(p.13)

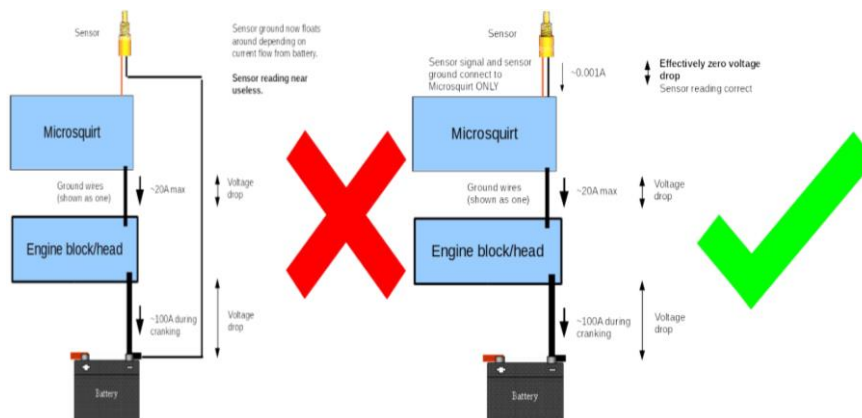


Figura 32. Forma correcta de instalar los sensores

Fuente: (MEGASQUIRT, 2016)

2.22. Mapas de inyección y encendido

El mapa es la configuración del sistema de inyección para la regulación de la mezcla aire combustible. Lleva un conjunto de configuraciones para la centralita del motor. Es similar a un gráfico con un eje X y un eje Y, el eje X tiene sentido de izquierda a derecha, mientras que el eje Y tiene sentido de arriba hacia abajo. Los números a lo largo del eje X representan la velocidad del motor en revoluciones por minuto (rpm), y los números sobre el eje Y representan la carga del motor. Si se colocan puntos dispersos sobre la cuadrícula que forman las intersecciones del eje X con el eje Y, que representan diferentes situaciones de conducción, se obtendrá un mapa de combustible. En cada punto la computadora da la señal a los inyectores de que hacer en una situación específica, con la combinación de velocidad del motor y demanda de torque. Normalmente en un motor de inyección, la computadora usa un mapa numérico o un mapa gráfico de tres dimensiones para determinar cuánto combustible debe entregar o cuánto adelanto al encendido debe haber. (Tinizaray, 2016, pág. 39)

Un mapa típico de inyección es como se muestra en la siguiente figura.

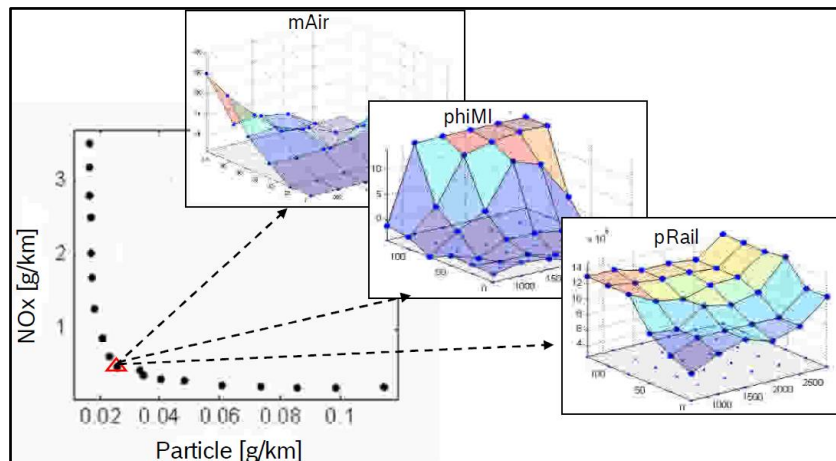


Figura 33. Principales Mapas configurables

Fuente: (Kruse & Kurz, 2010)

(Tinizaray, 2016) declara que en este mapa se puede ver que los colores varían, esto se debe al valor numérico de cada uno de ellos, los valores más altos corresponden a los colores más cálidos, mientras los valores más bajos son de colores más fríos.

En el estudio de (Tinizaray, 2016) menciona que para motores de aspiración natural, la carga del motor suele ser la misma que la lectura del sensor TPS, que en esencia es que tan presionado está el acelerador. Para motores turbo o de alimentación forzada, la carga típica del motor es la lectura del sensor MAP. La elevación que se ve en el mapa es cuanto combustible le está dando la computadora al motor, o la eficiencia volumétrica.

En un mapa de tres dimensiones es mucho más sencillo observar que correcciones son necesarias cerca de determinados puntos. Por ejemplo, en el mapa de la siguiente figura, se puede observar que no tiene una superficie muy

pareja o suave y por tanto tiene áreas que no están muy bien hechas, como el punto donde se cruzan las líneas verdes que parece fuera de lugar con respecto a los puntos circundantes. (Tinizaray, 2016, pág. 40)

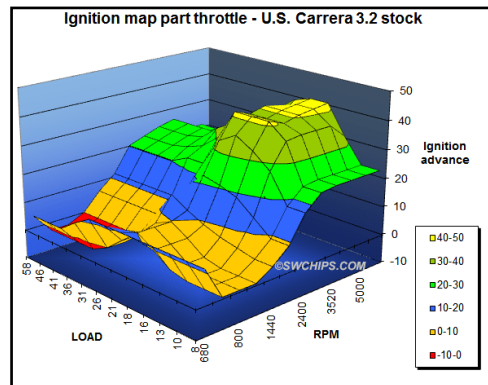


Figura 34. Mapa base para corrección

Fuente: (SW chips Performance, 2018)

Una vez corregido el cartográfico de inyección, después de haber configurado sobre un dinamómetro o en pista, el mapa cartográfico de inyección debe quedar liso, con aumentos inesperados de inyección, o huecos, al contrario, debe tener una tendencia de ser lo más suave, liso y creciente, como se muestra en la siguiente figura. (Tinizaray, 2016, pág. 41)

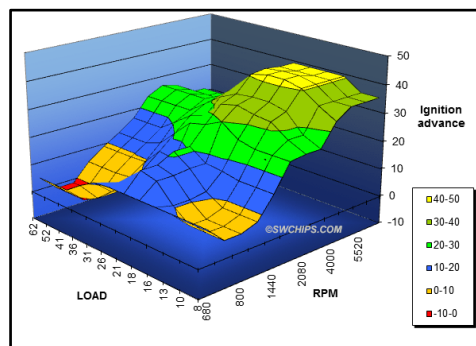


Figura 35. Mapa corregido y eficiente.

Fuente: (SW chips Performance, 2018)

2.23. Modelación de mapa por Speed density

(Banish, 2007) Manifiesta que “al elaborar un mapa basado por Speed density, se está tomando específicamente valores de vacío es decir, valores que correspondan al sensor MAP, y la tabla que se encuentra, será en función de la carga del motor y las RPM”.

(Banish, 2007) establece que “En algunas ECU las formas de calibración son diferentes, es decir, se puede encontrar el logaritmo de control denominado ALPHA N en donde la calibración se hizo por sensor TPS, y las correcciones se las hizo por sensor MAP”.

Las calibraciones también se pueden realizar por sensor MAF, pero no es muy recomendable, por algunas razones, debido a las pruebas el vehículo sobre el dinamómetro no se tendrá una medida correcta a la que se utiliza en carrera. Y por otro lado se tendrá cambios bruscos en el sensor.

2.24. Afinación de AFR (air fuel ratio)

(Hartman, 2018) manifiesta que para una calibración con un 100% de eficiencia, es obligatorio la utilización de un dinamómetro y una sonda de banda ancha, en donde se pueda determinar la relación aire de combustible exacta, en todos los regímenes del motor, de esta manera se determina, en que puntos de la tabla se necesita aumentar combustible o quitarlo, hay que considerar que, el avance al

encendido es de suma importancia, si no se tiene en cuenta esto, se podrá romper motores.

(Hartman, 2018) recomienda realizar las calibraciones sobre un dinamometro, con esto se logra un funcionamiento similar en pista o en calle, una vez realizadas las debidas calibraciones sobre el dinamometro es recomendable hacer los ajustes, en pista, debido a que sobre un dinamometro, no se puede considerar algunas condiciones, como son aire que fluye por la motor, temperatura de aire, aire que ingresa al motor, entre otros factores.

(Hartman, 2018) manifiesta que el acelerómetro es un dispositivo que ayuda a realizar las calibraciones en calle, este toma tiempo y kilometros desplazados por el vehículo, para realizar las calibraciones con este instrumento, es importante tener en cuenta ciertos aspector, entre ellos el humo negro, esto indica que la cantidad de combustible suministrato es elevado, el golpeteo de los motores, indica que el adelanto al encendido es muy grande, las explosiones por el escape indica que la mezcla es demaciada pobre y el ángulo de encendido es corto, en retención. (p. 189)

(Hartman, 2018) manifiesta que “los datos suminstrados por el sensor de múltiple de escape (EGT) son indispensables en la calibración, es decir que si se tiene valores elevados, se tendrá roturas de motores, generalmente la temperatura aumenta abroptamente, cuando la mezcla es muy pobre, con un valor lambda de entre (0.8 a 0.88)y un valor por wide band entre (14.8 a 15.7) en motores a

gasolina. Sin embargo el sensor EGT en relación a AFR puede ser impreciso, debido a que puede tener muchos factores a las temperaturas elevadas, como puede ser cámaras de combustión pequeñas, relación de compresión altas, pistones convexos, barra de levas, entre otros factores.

El sensor EGT a potencia máxima podría estar entre, 1.250 y 1.800 grados, o incluso un poco más caliente”. (p.190)

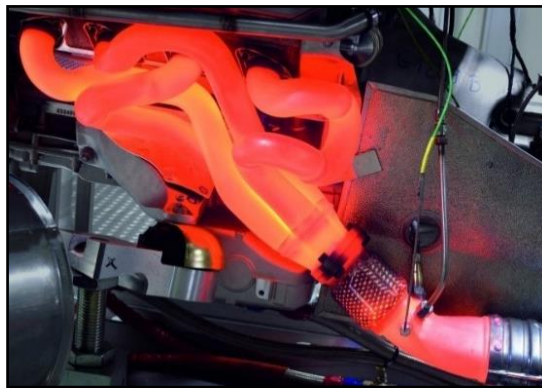


Figura 36. Sensor de tempera de multiple de escape

Fuente: (St, 2011)

2.25. Avance al encendido.

(Hartman, 2018) asegura que cuando se requiere controlar el disparo de la chispa, es imprescindible, la modificación de los valores de una tabla de encendido, que corresponde valores de RPM y carga del motor.

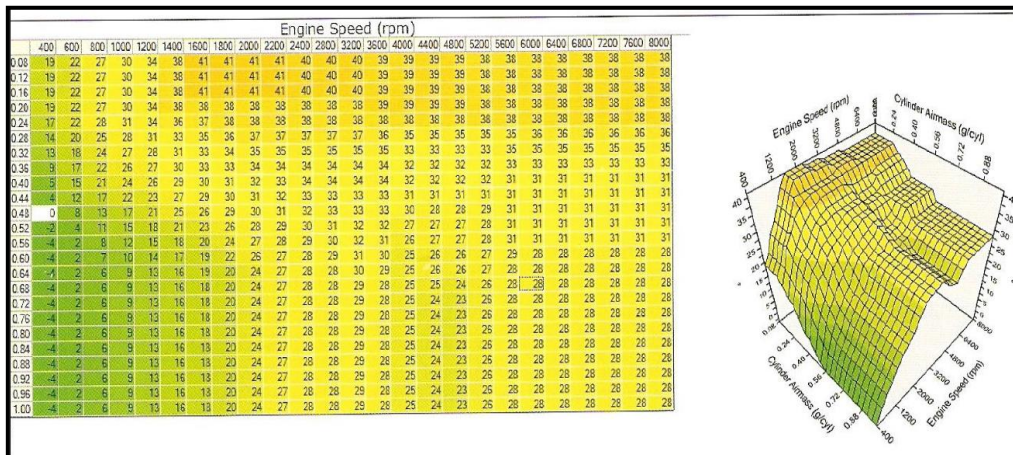


Figura 37. Tabla y mapa de avance al encendido

Fuente: (Banish, 2007)

Como escribe el proveedor (Electromotive, 2015) en el manual del usuario del TEC3, "Tal vez el paso más importante en la puesta a punto de un motor es establecer el avance de encendido necesario. Un motor con demasiada sincronización detona, independientemente de la cantidad de combustible que se inyecta. Un motor con poco tiempo funciona mal y sobrecalentará el escape en poco tiempo.

(Hartman, 2018) manifiesta que el tiempo de encendido tardío puede hacer que el motor funcione bruscamente, y definitivamente aumenta la temperatura del gas de escape (ya que la mezcla continúa quemándose más tarde en el ciclo de combustión). Si los conductos del múltiple de escape están brillando, sabes que hay muy poco avance de encendido; si el motor está golpeando, la sincronización puede estar demasiado avanzada.

(Hartman, 2018) manifiesta que para la sincronización óptima de la chispa varía, el objetivo principal es quemar toda la mezcla en su respectivo tiempo, el pico de

presión ocurre cuando el pistón está a 15 grados después del PMS, se centra en la carrera de compresión. Un requisito fundamental, es retrasar el en un 5% el adelanto al encendido, debido a que si el adelanto es demasiado alto, el motor puede realizar contraexplosiones, pero si el adelanto es muy corto, la mezcla va a seguir quemándose cuando el pistón este en la carrera trabajo, con esto mencionado se puede detectar fallas en pistones y bielas.

(Hartman, 2018) La cantidad óptima de avance de tiempo varía inversamente con eficiencia volumétrica porque las mezclas más densas se queman más rápido y requieren menos tiempo de espera para alcanzar el pico de 15 grados.

2.26. Correcciones y enriquecimientos.

La mayoría de ECU tiene sin número de calibraciones, correcciones, enriquecimientos de combustible y avance al encendido, (Hartman, 2018) manifiesta que las más utilizadas son las siguientes.

- Enriquecimiento por funcionamiento en frío, este varía el ancho de pulso del inyector, cuando el motor está funcionando en frío o a temperatura ambiente, y este disminuirá con el aumento de la temperatura del refrigerante o de la culata hasta que el motor alcanza tal vez 90°C.
- Enriquecimiento de aire frío, basado en la temperatura del aire de admisión (que puede desaparecer si el sistema de admisión se calienta). Nota: es fundamental ubicar el sensor de temperatura del aire de admisión (IAT) en un lugar donde se esté midiendo la temperatura del aire de admisión, no la

temperatura del colector de admisión o tubo de entrada de aire.

- Enriquecimiento después del arranque, que normalmente continúa durante un número fijo de revoluciones del motor (ronda los 250 rpm) para evitar que se pare.
- El enriquecimiento por control de aire en ralentí, que típicamente puede aumentar Régimen de ralentí cuando el motor está muy frío.
- El enriquecimiento por control de aire en ralentí, que típicamente puede aumentar Régimen de ralentí cuando el motor está muy frío.

En el estudio de (Electromotive, 2015) menciona que también que se pueden realizar las siguientes correcciones y enriquecimientos.

- Aumentos en el enriquecimiento por aceleración basados en la temperatura, a modo de porcentaje.
- Los aumentos en el tiempo de chispa basados en la temperatura, compensan la disminución de la velocidad de la llama cuando una gran cantidad de combustible crudo flota alrededor de las cámaras de combustión en diminutas gotas en lugar de vaporizarse por completo.
- Limitaciones basadas en la temperatura hasta el máximo aumento a evitar daños en el motor mientras el aceite esté aún demasiado viscoso.
- Un segundo de enriquecimiento de arranque basado en la temperatura.
- En algunos casos, las ECU inyecta una ráfaga de combustible a todos los cilindros si el TPS excede, el 70 por ciento con la llave de encendido encendida antes de arrancar.

2.27. Tabla VE (eficiencia volumétrica)

En la investigación de (Gismero, 2017) se representa una tabla de la cantidad de combustible a suministrar, y esta señalado por etapas.

		RPM																										
		900	1400	1900	2400	2900	3400	3900	4400	4900	5400	5900	6400	6900	7400	7900	8400	8900	9400	9900	10400	10900	11400	11900	12400	12900		
TPS	100	3,05	3,05	3,05	3,20	3,40	3,35	3,03	3,02	3,05	2,99	3,17	3,43	3,53	3,59	3,74	3,59	3,59	3,83	3,86	3,63	3,79	3,49	3,53	3,33	3,23		
	90	3,05	3,05	3,05	3,20	3,26	3,35	2,95	3,03	3,04	3,05	3,21	2,92	3,63	3,65	3,51	3,49	3,43	3,72	3,87	3,67	3,64	3,57	3,38	3,59	3,59		
	80	3,05	3,05	3,05	3,05	3,18	3,44	2,88	3,03	3,03	2,99	3,21	2,90	3,60	3,65	3,52	3,50	3,60	3,74	3,84	3,49	3,66	3,45	3,42	3,59	3,59		
	70	3,05	3,05	3,05	3,05	3,22	3,35	2,79	2,80	3,05	2,68	3,23	3,01	3,49	3,68	3,69	3,29	3,62	3,77	3,84	3,50	3,72	3,45	3,48	3,59	3,59		
	60	3,05	3,05	3,05	3,05	3,26	3,38	2,67	2,59	2,77	2,55	3,07	2,89	3,20	3,48	3,28	3,10	3,54	3,56	3,75	3,44	3,67	3,45	3,37	3,50	3,50		
	50	3,05	3,05	3,05	3,05	3,20	3,39	2,79	2,67	2,74	2,69	2,99	2,84	3,19	3,39	3,27	3,05	3,49	3,54	3,60	3,58	3,30	3,48	3,38	3,50	3,50		
	40	2,97	2,97	2,97	2,97	3,53	3,31	2,93	2,73	2,82	2,55	2,99	2,77	3,20	3,38	3,22	3,12	3,43	3,58	3,68	3,63	3,60	3,41	3,37	3,59	3,50		
	30	2,97	2,97	2,97	2,97	3,58	3,30	2,78	2,49	2,75	2,73	2,93	2,89	3,20	3,05	3,42	3,10	3,32	3,46	3,56	3,60	3,28	3,25	3,19	3,42	3,42		
	20	3,05	3,05	3,05	3,05	3,52	3,23	2,58	2,65	2,68	2,66	3,02	2,82	3,18	3,21	3,27	3,09	3,28	3,43	3,43	3,43	3,14	3,39	3,26	3,50	3,50		
	10	2,97	2,97	2,97	2,97	3,41	3,11	2,58	2,54	2,61	2,52	2,90	2,74	3,17	3,16	3,16	2,94	3,22	3,36	3,35	3,36	3,07	3,28	3,04	3,17	3,17		
	0	2,89	2,89	2,89	2,89	3,40	3,08	2,66	2,50	2,71	2,54	2,94	2,68	2,93	3,07	3,16	2,97	3,27	3,24	3,25	3,17	3,27	3,19	2,94	3,09	3,09		
	100	2,89	2,89	2,89	2,89	3,06	3,05	2,53	2,43	2,57	2,66	2,74	2,65	2,88	3,39	3,02	2,90	3,22	3,29	3,29	3,08	3,15	2,93	2,90	3,09	3,09		
	90	2,81	2,81	2,81	2,81	3,01	3,08	2,65	2,59	2,57	2,67	2,73	2,73	2,76	3,40	2,86	2,69	3,16	2,96	3,04	2,92	2,66	2,82	2,85	2,92	2,92		
	80	2,81	2,81	2,81	2,81	2,85	2,85	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,71	2,85	2,77	2,65	3,03	2,82	3,03	2,84	2,92	3,28	2,59	2,76	2,76	
	70	2,81	2,81	2,81	2,81	3,05	3,05	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51
	60	2,81	2,81	2,73	2,73	2,89	2,89	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51
	50	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51
	40	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51
	30	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51
	20	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51
10	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
0	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
100	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
90	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
80	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
70	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
60	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
50	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
40	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
30	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
20	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
10	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	
0	2,81	2,81	2,89	2,89	3,03	3,03	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,46	2,58	2,83	2,43	2,43	2,51	2,81	2,45	2,58	2,63	2,49	2,39	2,51	2,51	

Figura 38. Tabla de combustible separado por zonas

Fuente: (Gismero, 2017)

- En la zona 1 son los valores en ms de la cantidad a suministrar en ralentí del motor, este va de 700 a 1500 RPM
- En la zona 2 se representa valores en ms en aceleración, desde ralentí.
- La zona 3 es la representación de la conducción en crucero, es decir, está zona se extiende desde las 3000 rpm hasta 5000 rpm.
- La zona 4 representa aceleración a plena carga, es decir es cuando el pedal del acelerador esta a fondo y las RPM son a máxima potencia.
- La zona 5 es la representación del vacío, se genera en el motor por el cambio de marcha.

- La zona 6 es la representación previa al corte de combustible, esta zona es crítica debido a que si no se realiza un porcentaje correcto se puede producir altas temperaturas en la cámara de combustión.
- La zona 7 es la caída súbita de carga o la desaceleración brusca, en esta zona es importante tener suministrado de combustible al motor, para no producir daños en los elementos mecánicos.

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT CON TODOS LOS ELEMENTOS MECÁNICOS, ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS NECESARIOS PARA SU FUNCIONAMIENTO.

3.1. Introducción

En esta sección se determina los equipos utilizados para la implementación del sistema programable MICROSQUIRT, así como también se definirá los requerimientos necesarios, para el óptimo funcionamiento del motor a combustión interna KTM 250 cc, tal es así que se describirá la utilización de recursos, tecnológicos, humanos y físicos para la V válida de la competencia MOTOSTUDENT.

3.2. Especificaciones técnicas del motor KTM 250 cc

El motor utilizado para la V válida de la competencia MOTOSTUDENT es un motor cuatro tiempos, mono cilíndrico, como se puede ver en la siguiente figura.



Figura No. 39. Motor utilizado para la competición MOTOSTUDENT

En la siguiente tabla se observa las características técnicas, tales como potencia, torque, dimensiones, materiales.

Tabla 4

Características técnicas del motor KTM 250 cc

Diseño	Motor mono cilindro de 4 tiempos
Potencia	30.87HP/9000 rpm
Torque	24Nm/7250 rpm
Cilindrada	248.8 cm ³
Carrera	72 mm
Diámetro	61.6mm
Relación de compresión	12.5:1
Características de culata	4 válvulas, distribución por cadena
Diámetro de válvula de admisión	29 mm
Diámetro de válvula de escape	24mm
Soportes de cigüeñal	Rodamientos flotantes
Pistón	Aluminio super ligero
Lubricación del motor	Circuito de presión de lubricación con 2 bombas rotativas
Refrigeración	Coolant
Arranque	Arranque eléctrico

Fuente: (Fundation Moto Engineering [MEF], 2016)

El motor antes mencionado se montó en un prototipo de motocicleta cuyas características se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 5*Características del prototipo de motocicleta STOLIKA*

Características	Valores
Distancia entre ejes	1330 mm
Altura de centro de gravedad	530 mm
Materia de construcción	Acero extruido ASTM A35
Diámetros de tubo principal	1 inch
Espesor de tubo	2 mm
Diámetro de tubo secundario	½ inch
Diámetro de rueda	16.5 inch
Relación de transmisión final	13/39
Peso	146 Kg
Tipo de suspensión delantera	Horquilla mecánica
Tipo de suspensión posterior	Amortiguador y resorte en conjunto

3.5. Multímetro automotriz.

El multímetro automotriz, es un instrumento indispensable al momento de realizar, verificaciones, medidas, calibraciones, entre otras aplicaciones eléctricas, para esto se menciona algunas aplicaciones, que nos pueden brindar este tipo de instrumentos, como se refleja en la siguiente tabla.

Tabla 6*Funciones especiales de un multímetro automotriz*

Funciones	Escalas
Velocidad de motor	RPM
Dwell	Ms
Duty	%
Pulse width	mS
TPS/MAF	Voltaje
O2	Volt
Temperatura	°C /°F
Resistencia/continuidad	Ω/KΩ
Voltaje	Volt
Amperaje	A



Figura No. 40. Multímetro automotriz

Fuente: (TAAET, 2018)

3.6. Analizador de gases Brain Bee AGS-688.

El analizador de gases BRAIN BEE es un instrumento de medición, empleado con el fin de conocer los gases que emanan los motores de combustión interna, es el caso de CO, CO₂, HC, NO, O₂. Esta herramienta automotriz nos entrega valores en % y ppm, según al gas al que pertenezca.



Figura No. 41. Analizador de gases Brain Bee

fuelle: (Brain Bee, 2019)

Este instrumento de medición, entrega valores, a los que se debe prestar atención, como indica la siguiente tabla:

Tabla 7

Componentes, rango y resolución de medidas

GAS	MEDIDA	RESOLUCIÓN
CO	0 – 9.99%	0.01
CO2	019.99%	0.1
HC	0 – 9999%	1
O2	0 - 25%	0.01
LAMBDA	0.5 – 5L	0.001
NOX	0 – 5000ppm	1
RPM	300 – 9990 rpm	10
TEMP	20 – 250°	1

Fuente: (Globaltech, 2018)

3.7. Dinamómetro de rodillo.

(Gray, 2014) Menciona que el dinamómetro de rodillo es una herramienta de rendimiento, utilizada fundamentalmente, para realizar ensayos de potencia, par, rpm, así también es capaz de simular situaciones del mundo real, como es la cantidad de flujo de aire, inclinaciones verticales entre otros.

Tabla 8

Características de dinamómetro

Características del dinamómetro DynoMite	
Tamaño del rodillo	30"
Potencia instantánea	3000 HP
Límite de potencia máxima	675 HP
Simulación inercial	Buena
Instalación	pozo

Fuente: (Dynamometer, 2018)



Figura 42. Dinamómetro de rodillos para motocicleta

3.3. Sensores y actuadores.

3.3.1. TPS (Sensor de posición de la mariposa de aceleración)

Este sensor es el encargado de enviar información a la ECU, del porcentaje de apertura de la mariposa de aceleración, de esta manera si la mariposa está cerrada por completo, la ECU nos marcará un valor de 0% y si la mariposa está abierta por completo nos marcará un valor de 100%, en la siguiente tabla se menciona los valores de trabajo del sensor TPS.

Tabla 9

Valores de funcionamiento del sensor TPS

Valores de funcionamiento del sensor TPS	
Volt referencia	5 volt
Volt de señal	De 0.4 volt a 4.8 volt
Volt de masa	0.2 mV
Resistencia entre masa y pin de señal	0.5 Ω
Resistencia entre masa y pin de ref.	2.5 Ω



Figura 43. Sensor TPS (throttle position sensor)

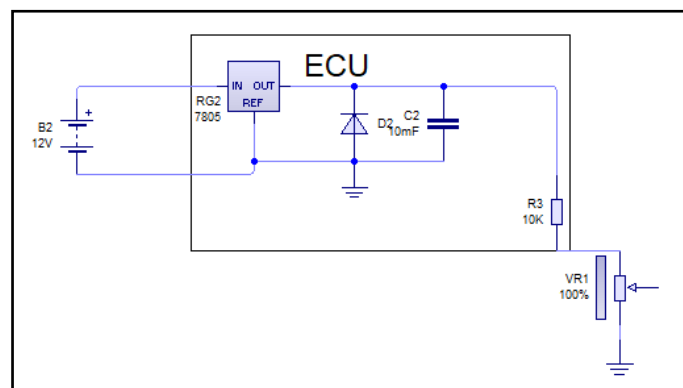


Figura 44. Diagrama de conexión

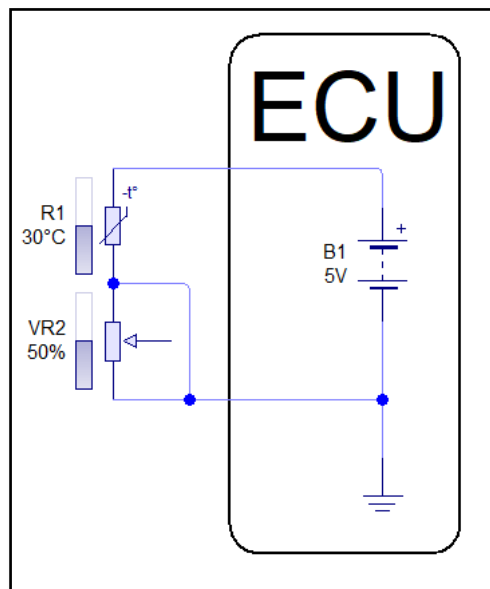
3.3.2. Sensor MAP + IAT

El sensor MAP es el encargado de comunicar a la ECU la carga o depresión que genera el motor en el múltiple de admisión, con el fin de poder realizar las correcciones necesarias, para una combustión eficiente.

El sensor IAT es un elemento electrónico de tipo termistor NTC (coeficiente de temperatura negativo) el cual envía la información necesaria a la centralita, acerca de la temperatura del aire que ingresa al motor.

Tabla 10*Datos técnicos del sensor MAP + IAT*

Valores de funcionamiento del sensor MAP + IAT	
Volt referencia	5 volt
Volt de señal	De 0.4 volt a 4.8 volt
Volt de masa	0.2 mV
Resistencia del sensor IAT	1.62 Ω
Volt en ralentí	2.1 volt

**Figura 45.** Sensor MAP y IAT**Figura 46.** Pines de sensor MAP y IAT

3.3.3. Sensor ECT (Sensor de temperatura de refrigerante)

Este sensor es el que permite comunicar a la centralita la temperatura del refrigerante del motor, con el fin de optimizar la inyección y el avance al encendido, así como también establecer una temperatura idónea para el encendido del electro ventilador.

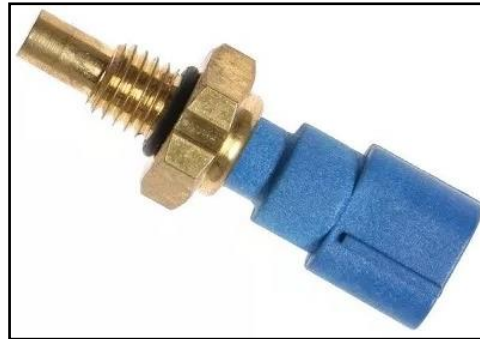


Figura 47. Sensor de temperatura de refrigerante

Fuente: (Bosch, 2018)

Tabla 11

Características del sensor ECT

Valores de funcionamiento del sensor ECT	
Volt de señal	De 0.4 volt a 4.8 volt
Volt de masa	0.2 mV
Resistencia del sensor ECT a 20°	1.22 Ω

3.3.4. Sensor CKP (Crank position sensor)

Se puede decir que este sensor es el más importante de todos, debido a que este envía información a la ECU, con el objetivo de dar a conocer la posición del cigüeñal, esto interviene fundamentalmente en la cantidad de combustible a suministrar, y el avance al encendido.

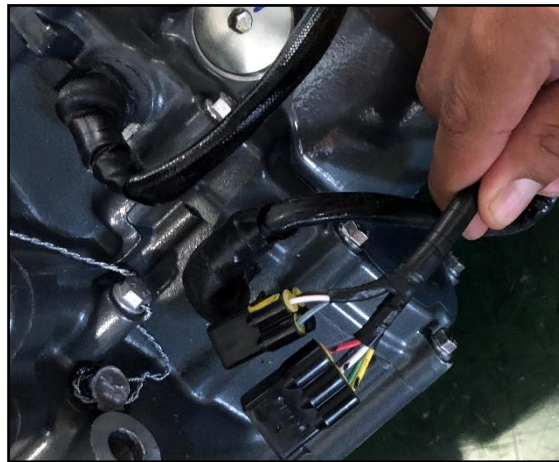


Figura 48. Sensor de giro de cigüeñal

Tabla 12

Características del sensor CKP

Valores de funcionamiento del sensor CKP	
Tipo de sensor	Inductivo
Cable verde	Bobina (+)
Cable rojo	Bobina (-)
Cable amarillo	Masa
Ubicación	Bloque de motor



Figura 49. Rueda fónica

3.3.5. Inyector.

Tabla 13

Características del inyector

Valores de funcionamiento del inyector	
Volt alimentación	12 volt
Volt de señal	Suministrado de la ECU
Resistencia	13.3 Ω
Orificios de dosificación	4 orificios
Volumen del inyector	33 cc

La conexión del inyector, tiene que tener un cable de 12v constantes y un cable de masa pulsante, este cable llega directo de la ECU, ya que esta es la encargada de activar al inyector.



Figura 50. Inyector de KTM 390 cc

3.3.6. Bomba de combustible.

La bomba de combustible que se utilizó fue de tipo sumergible y en la siguiente tabla se detalla las características técnicas.

Tabla 14*Características de la bomba de combustible*

Valores de funcionamiento de la bomba	
Volt alimentación	12 volt
Volt de señal	Suministrado de la ECU
Presión	5 bar
Caudal	180 l/h
Ubicación	Sumergible en el tanque de combustible

**Figura 51.** Bomba de combustible**3.3.7. Bobina de encendido.**

La bobina de encendido que se utilizó, fue para uso de un solo cilindro, en la siguiente figura se puede evidenciar el tipo de bobina que se empleó.

**Figura 52.** Bobina de encendido para un cilindro

3.3.8. Electro ventilador.

Este elemento es el encargado de disminuir la temperatura del motor, este va ubicado en la parte posterior del radiador, la activación de este elemento se lo realiza utilizando la interfaz TunerStudio MS.



Figura 53. Electro ventilador

Fuente: (RADEC, 2018)

3.4. Unidad electrónica de control.

La unidad electrónica de control, MICROSQUIRT, es la encargada de recibir y enviar señales eléctricas, con el fin de controlar de forma óptima el motor de combustión interna, esta tiene las características que se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 15

Características técnicas de ECU MICROSQUIRT

Especificaciones	Descripción
Logaritmo de control	MAP, MAF, Alpha N(TPS)
Velocidad de pulsos de inyección	0,66 micro segundos
Control de rotación	CKP, CMP
Correcciones	IAT, ECT, MAP, BARO
Enriquecimiento	Started, After started

CONTINÚA →

Especificaciones	Descripción
Entradas	5 programables
Salidas	5 programables
Controles	Launch control, antilag, boost
AFR	Habilitado
Corrección barométrica	Habilitado

3.4.1. Distribución de pines

Esta centralita cuenta con un conector de 35 pines, los cuales se los detalla en la siguiente imagen.

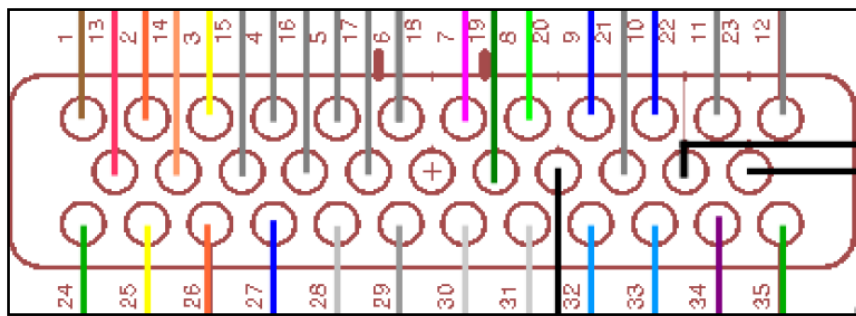


Figura No. 54. Pines de conexión a la ECU

Fuente: (MEGASQUIRT, 2016)

En la siguiente tabla se establece el funcionamiento de cada pin, la designación, y entre que valores de amperaje funciona.

Tabla 16

Especificaciones de cada cable de la MICROSQUIRT.

PIN	NOMBRE	COLOR	IN/OUT	FUNCIÓN	CORRIENTE
1	+12V in	RED	IN	Alimentación	<1A
2	CANH	BL/YEL	COM	Comunicación H	
3	CANL	BL/RED	COM	Comunicación L	
4	VR2+	VR2	IN	Sensor CMP	
5	SPAREADC	PNK/BLK	IN	Entrada analógica	
6	FLEX	PPL/WH	IN	Entrada analógica	
7	FIDLE	GRN	OUT	IAC	3A

CONTINÚA →

PIN	NOMBRE	COLOR	IN/OUT	FUNCIÓN	CORRIENTE
8	FUEL PUMP	PPL	OUT	Relay de la bomba	3 ^a
9	INYECTOR 1	THIK GN	OUT	Inyector	5 ^a
10	INYECTOR 2	THIK BLU	OUT	inyector	5 ^a
11	IGNICION 2	WH/RED	OUT	bobina	0.02 ^a
12	IGNICION 1	THIK WH	OUT	bobina	0.02 ^a
13	RX	-	COM	RS232	-
14	TX	-	COM	RS232	-
15	BOOT LOAD	PPL/BLK	COM	Restablecer	-
16	ALED	YEL/BLK	OUT	Relé del actuador	3 ^a
17	WLED	EL/WH	OUT	Relé del actuador	3 ^a
18	TIERRA (SENSORES)	-	GND	Tierra	
19	TIERRA (SENSORES)	-	GND	Tierra	
20	TIERRA (SENSORES)	WH/BL	GND	Tierra	
21	VR2-	VR2	IN	Sensor CMP	
22	TIERRA CENTRAL	BLK	GND	Tierra	
23	TIERRA CENTRAL	BLK	GND	Tierra	
24	MAP	GRN/RED	IN	Entrada Sensor	
25	CLT	YEL	IN	Entrada sensor	
26	MAT	ORG	IN	Entrada sensor	
27	TPS	BLU	IN	Entrada sensor	
28	TPS VROF (5V)	GRAY	OUT	Volt ref sensores	0.1 ^a
29	SPAREADC	ORG/GRN	IN	Entrada analógica	
30	OPTO+	GRY/RED	IN	Bobina pulso (-)	
31	OPTO-	GRY/BLK	IN	Bobina pulso (-)	
32	VR1+	VR1	IN	Sensor CKP	
33	VR1-	VR1	IN	Sensor CKP	
34	O2	PNK	IN	Lambda	
35	TACHO	GRN/YEL	OUT	RPM	0.3 ^a

Fuente: (MEGASQUIRT, 2016)

3.4.2. Cable serial RS232

Este tipo de cable permite realizar comunicación desde la ECU con el ordenador, con el fin de poder modificar parámetros, así como poder activar entradas, salidas etc.



Figura 55. Cable serial RS232

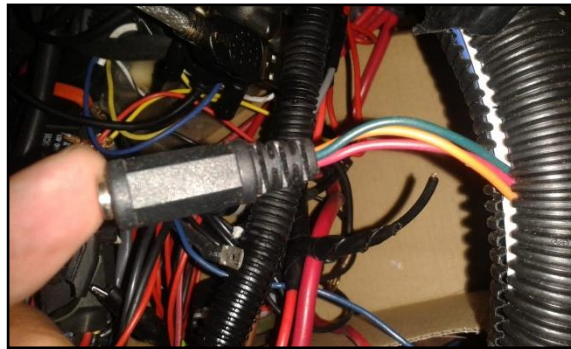


Figura 56. Conector incluido en el arnés de instalación

3.8. Instalación de componentes eléctricos.

Para la instalación de todo el sistema eléctrico, se requirió, componentes periféricos indispensables para su correcto funcionamiento.

Tabla 17

Instalación de componentes periféricos.

Ítem	Descripción	Figura
1	Relés Elaborar un diagrama de conexiones de relés.	
2	Conexiones de relé principal, relé de la bomba de combustible, relé de electro ventilador, relé de motor de arranque	

Figura No. 57. Diagrama de conexión de un relé

Figura No. 58. Conexión de relés

CONTINÚA →

3 Regulador de voltaje

El regulador de voltaje es el encargado de regular y rectificar la corriente alterna originado en el motor, para mantener la carga adecuada de la batería



Figura No. 59. Regulador de voltaje

-
- 4 Este elemento se compone de 5 cables, 3 de ellos de color amarillo van conectados al socket proveniente del motor, el cable de color rojo, se conecta directamente a batería y el cable de color negro se conecta a masa o chasis



Figura No. 60. Conector proveniente del motor

5 Switch ON/OFF

La conexión del Switch on/off, es una parte muy importante, debido a que este interruptor permitió suministrar voltaje a los componentes que requieren alimentación de 12Volt, es el caso del inyector, bobina de encendido, relé principal, entre otros elementos.



Figura No. 61. Switch on/off ubicado en el manillar de la moto

6 Pulsador de arranque

Es el encargado de dar arranque al motor, donde posteriormente se da información a la MICROSQUIRT para encender el motor, como es el caso del cranking y priming



Figura No. 62. Pulsador de arranque

3.9. Instalación de ECU MICROSQUIRT

Realizadas las instalaciones eléctricas de los componentes periféricos, necesarios para un correcto funcionamiento, posterior a lo mencionado se realizó las conexiones y empalmes de sensores, actuadores, entre otros.

Para ello se conoció los terminales y pines de la ECU con los cuales se manejar, como lo refleja la siguiente figura.

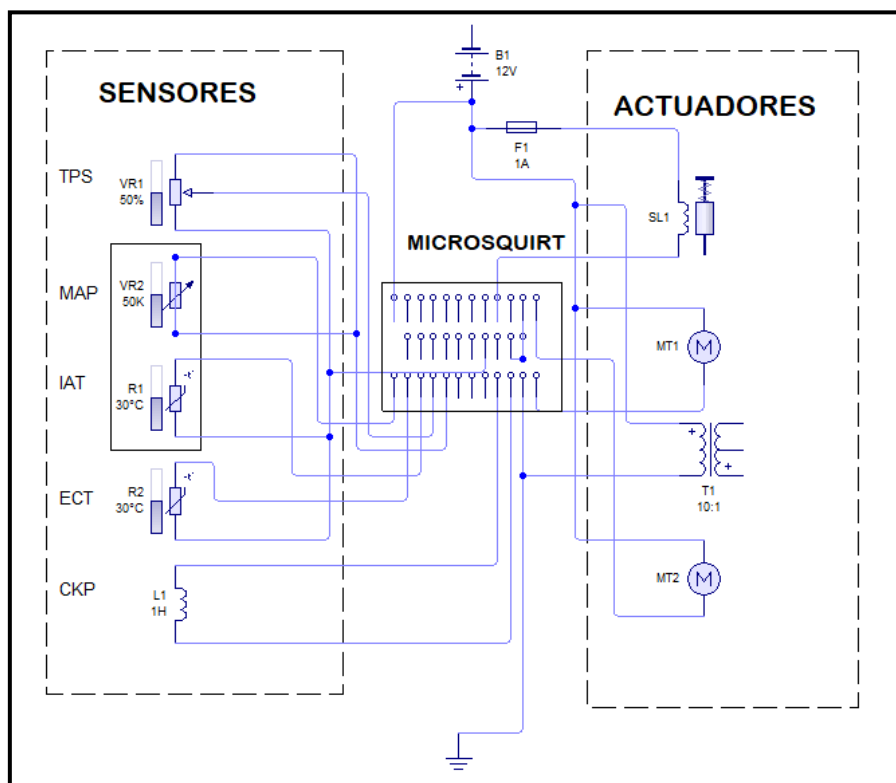


Figura 63. Esquema de pines y conexión de sensores y actuadores

Con el objetivo de elaborar un cableado fácil de comprender en cuanto a las conexiones, se procedió a elaborar un arnés, de montaje y desmontaje rápido y sencillo.

Tabla 18

Instalación de sensores y actuadores

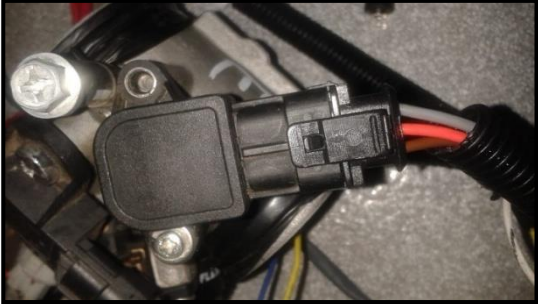
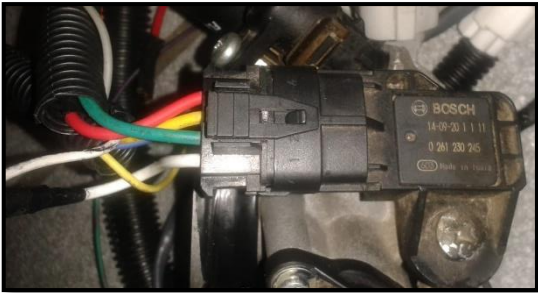
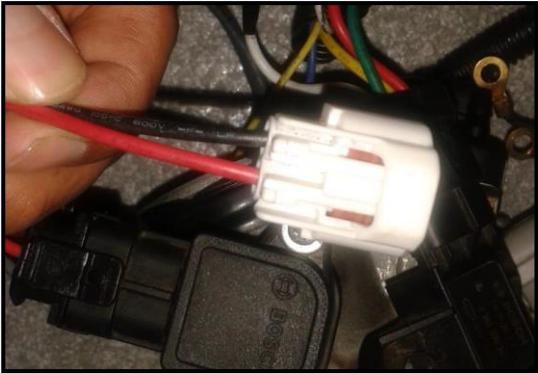

Ítem	Descripción	Figura
1	Instalación correspondiente de sensor TPS En donde: Gris: Señal Rojo: Masa Café: V. Ref	
2	Instalación correspondiente al sensor MAP y IAT donde: Rojo: señal MAP Amarillo: V. Ref Verde: señal IAT Blanco: masa	
3	Instalación correspondiente al sensor de temperatura del refrigerante donde: Negro: masa Rojo: señal ECT	
4	Instalación correspondiente al inyector en donde: Negro: 12 V Negro- gris: pulsos	

Figura 64. Conector correspondiente al Sensor TPS

Figura 65. Conector correspondiente al Sensor MAP y IAT

Figura 66. Conector de Sensor ECT

Figura 67. Conector correspondiente al Inyector

CONTINÚA →

- 5 Instalación correspondiente a la bobina de encendido, donde:
Rojo: 12 V
Negro: pulsos



Figura 68. Bobina de encendido

3.10. Instalación de software TunerStudio MS

Para la instalación del Software TunerStudio MS, es necesario seguir las siguientes instrucciones.

Tabla 19

Instalación de software

Ítem	Descripción	Figura
1	Se descargó de la página web EFI ANALYTICS, en donde se encuentra la versión más actualizada y la posibilidad de escoger el sistema operativo que se vaya a trabajar, en este caso se descargó la versión para Windows 10.	

Figura 69. Compatibilidad para diversos sistemas operativos

CONTINÚA →

- 2 Una vez descargado el archivo, se podrá empezar con la instalación, como se observa en la figura.

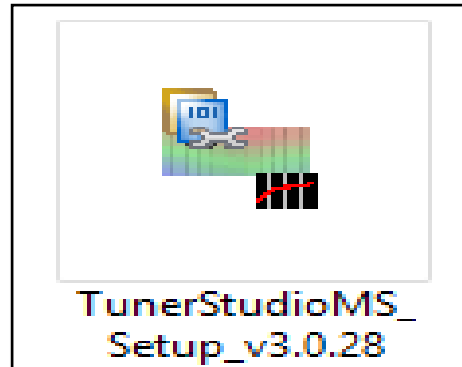


Figura 70. Archivo para realizar la instalación correspondiente.

- 3 Es la primera ventana de instalación.

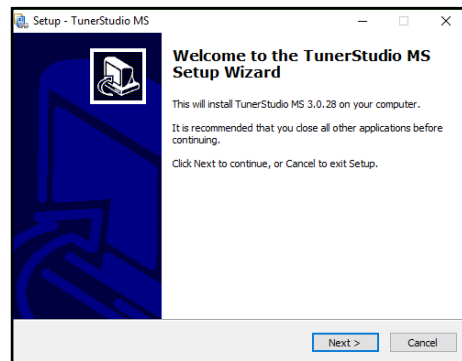


Figura 71. Ventana inicial de instalación TunerStudio MS

- 4 Continuando con la instalación del software, en la ventana de términos y condiciones, se aceptan y se continúa con la instalación.

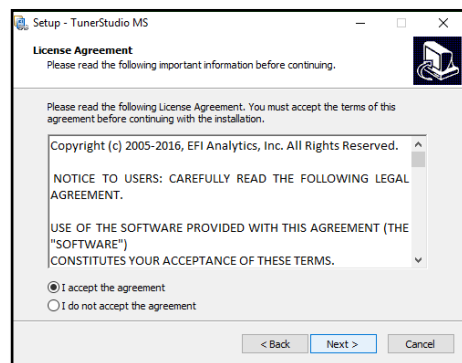


Figura 72. Ventana para aceptar términos y condiciones

CONTINUÍA →

- 5 El siguiente paso es, redireccionar la ubicación en donde se desea realizar la instalación del software.

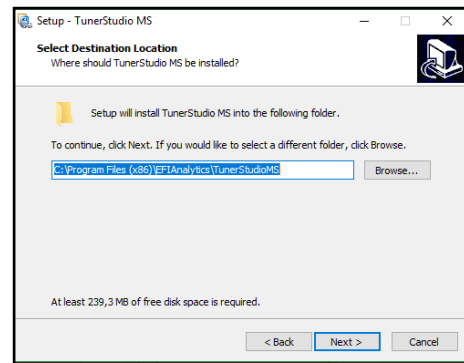


Figura 73. Dirección de archivo

- 6 Para continuar con la instalación, hay 3 ventanas en donde se coloca la opción "Next" y en las cuales nos menciona, si se desea crear un acceso directo del Software, es criterio de la persona que vaya a utilizar el ordenar, en este caso se seleccionó esa opción y en la última ventana se ubica el botón instalar.

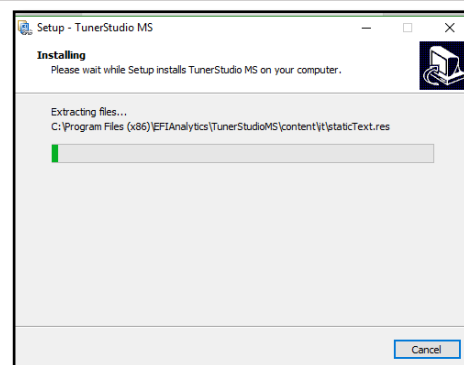


Figura 74. Ciclo de instalación del software.

- 7 Para terminar con el proceso de instalación del mencionado software, se opta por el botón de finalizar, y en ese instante, se tiene un acceso directo en el escritorio de nuestro ordenador, como se evidencia en la siguiente figura.

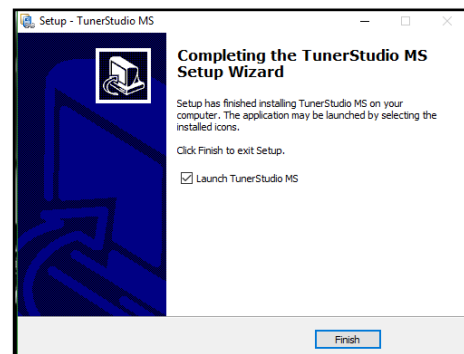

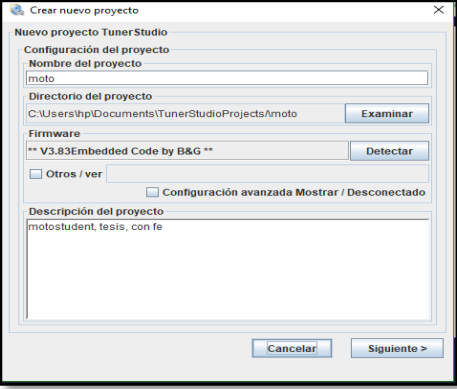
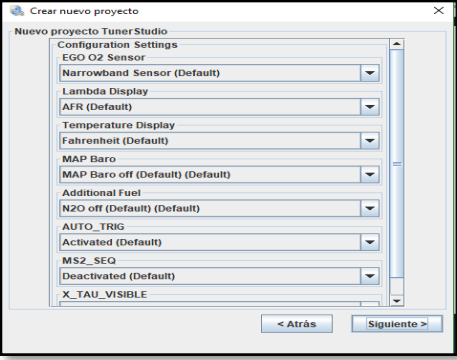


Figura 75. Finalizando el proceso de instalación de TunerStudio MS

3.11. Creación de proyecto nuevo.

Tabla 20

Creación de un nuevo proyecto

Ítem	Descripción	Figura
1	Posteriormente se abrirá un nuevo proyecto, en donde se realiza los ajustes pertinentes del motor, en la figura se observa la interfaz de TunerStudio MS.	
<p>Figura 76. Interfaz inicial de TunerStudio MS</p>		
2	Se despliega una ventana en donde se completa los datos, como son: Nombre del proyecto, dirección del proyecto, y la descripción del proyecto, terminando con lo mencionado se selecciona el botón siguiente.	
<p>Figura 77. Ventana de creación del proyecto</p>		
3	Después se despliega una ventana en donde se tendrá que elegir, que tipo de sensores se utiliza en el proyecto, se selecciona también magnitudes, como son temperatura, presión, velocidad, así como se puede evidenciar en la figura	
<p>Figura 78. Selección de unidades y sensores</p>		

CONTINUÍA →

- 4 Al aplicar en el botón siguiente, se nos desplegara la ventana como se muestra en la figura, en donde se selecciona el tipo de conexión, en este caso se marcó RS232, posterior a esto se selecciona el puerto de comunicación, en esta ocasión se seleccionó COM8, al terminar estos pasos se marca el botón "Siguiente"

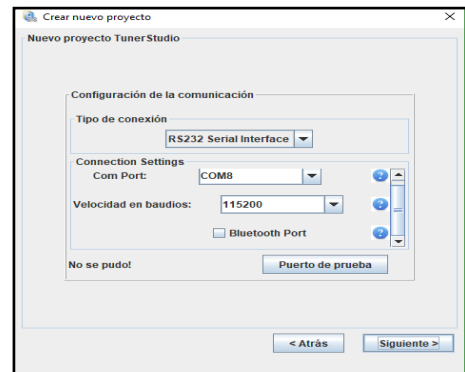


Figura 79. Selección de puertos de comunicación

- 5 Para finalizar la creación del proyecto se tiene que elegir la interfaz con la que se quiera trabajar, por un mejor dominio del software se ha seleccionado la que nos ofrece el programa por defecto, como se ilustra en la figura.

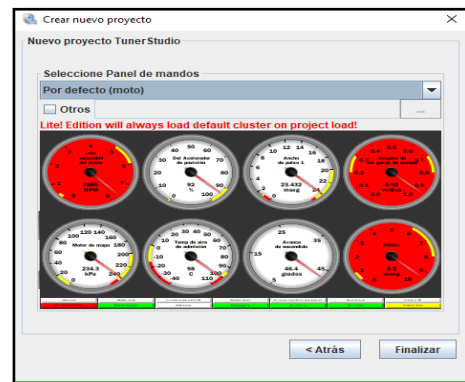


Figura 80. Interfaz a utilizar

3.12. Ajustes y configuraciones previas a encender el motor.

3.12.1. Relojes marcadores

La interfaz gráfica en la cual se haya configurado las opciones del nuevo proyecto, es la que muestra en la siguiente figura, donde, se podrá cambiar los relojes, agregando o sustituyendo otros.



Figura 81. Interfaz gráfica de inicio

Para cambiar los relojes marcadores, se da clic derecho, en el panel central y se selecciona las opciones que se muestran en la siguiente figura, en estas, se puede encontrar numerosas opciones, entre ellas: temperatura de motor, temperatura de aire de admisión, RPM, grados de avance al encendido, ciclo Duty de inyectores, tiempo de apertura de los inyectores, depresión en el múltiple de admisión, posición de la aleta de aceleración, voltaje de batería, etc.

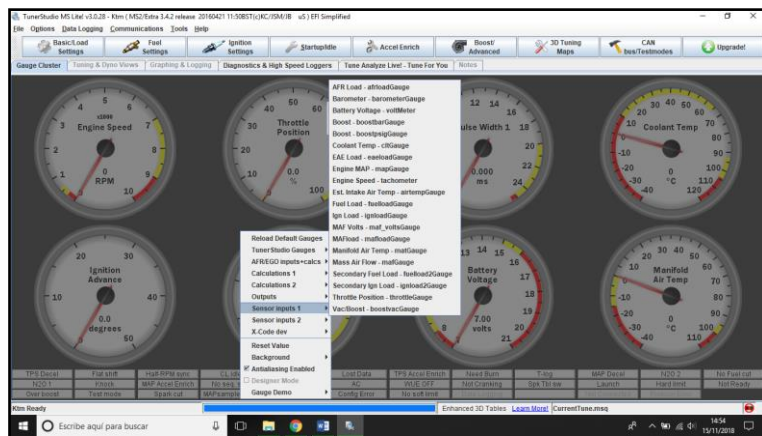


Figura 82. Relojes marcadores a elegir

3.12.2. Configuraciones de motor y control de la ECU MICROSQUIRT

Para realizar las configuraciones necesarias, se tiene que ingresar al menú “**BASIC AND LOAD SETTINGS**”, posterior a esto se selecciona la primera opción denominada “ENGINE AND SEQUENTIAL SETTINGS”, en esta opción se escogió el botón nombrado “REQUER FUEL” como se muestra en la siguiente figura.

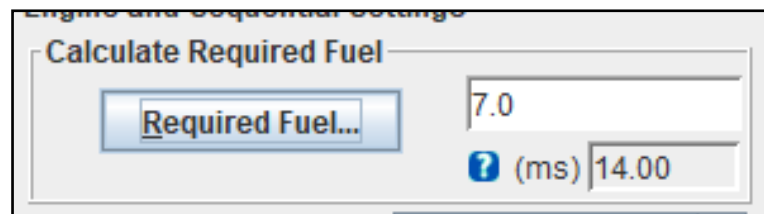


Figura 83. Configuración de combustible

Al ingresar a la opción antes mencionada, se cambiaron los valores de, cilindraje de motor, número de cilindros, caudal del inyector, y relación aire- combustible deseada, en este caso se ingresó valores correspondientes al motor utilizado, tal como se demuestra en la siguiente figura.

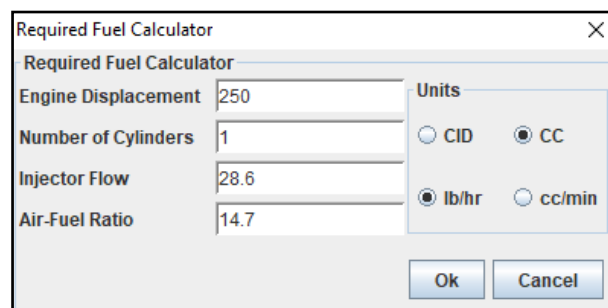


Figura 84. Configuraciones de combustible requerido

Una vez que se haya configurado el combustible requerido, es necesario ingresar valores de las características técnicas del motor, como son, número de cilindros,

tiempos de trabajo del motor, tipo de combustión del motor, tipo de inyección y el algoritmo de control, en este caso se realizó un control con el algoritmo “Alpha N” que es la denominación que la realiza microsquirt al control por “TPS”.

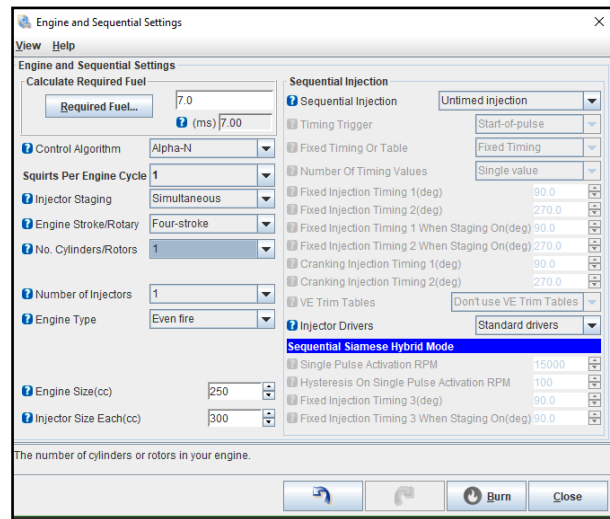


Figura 85. Ventana de configuraciones de motor.

Es importante, brindar configuración al limitador de revoluciones, utilizando esta opción se podrá configurar la forma de limitar las revoluciones del motor, brindando seguridad y alargando la vida útil del mismo. Por esta razón se ha limitado a 9000 RPM en donde el fabricante del motor menciona que, a este régimen de RPM, brinda su máxima potencia. Como se expone en la siguiente figura, las configuraciones que se utilizaron fueron las siguientes.

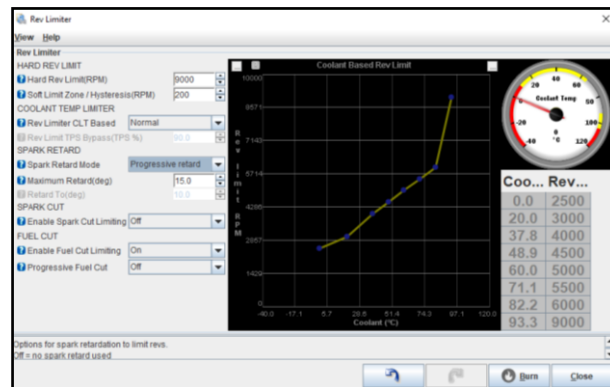


Figura 86. Configuración “Rev Limiter”

Es importante realizar la codificación de la rueda fónica, debido a que esta brinda sincronización con el salto de chispa y el pulso de la inyección.

Para realizar lo antes mencionado se ingresa a la opción de configuraciones de encendido, dando clic en la primera opción “ignition option/Wheel decode” como se refleja en la siguiente figura.

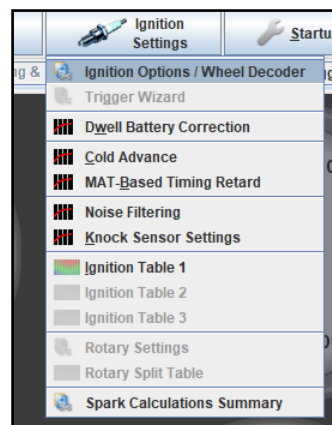


Figura 87. Menú de configuración de encendido

Al ingresar al menú antes seleccionado, se abrirá una ventana en donde se tendrá la información relevante para ingresar correcciones, como es:

Elegir el tipo de accionamiento de la chispa, en este caso se va a tener por rueda dentada o más conocida como rueda fónica.

Otro dato muy importante que se debe tener en cuenta la codificación de la rueda fónica, en el caso del motor KTM 250 cc tiene una rueda fónica de 36-2 dientes, es decir la rueda debería tener 36 dientes y faltan 2, estos valores se los inserta en la casilla de “trigger wheel teeth” y “missing teeth” respectivamente.



Figura 88. Rueda fónica 36-2

Es necesario encontrar el ángulo en donde se sitúa, el primer diente de la rueda fónica, este va a ser el encargado de informar a la ECU y enviar la señal del disparo de la bobina de encendido.

En este caso nosotros, se utiliza información que nos brindaba la rueda del cigüeñal, por esta razón se selecciona la opción “Crank Wheel”.

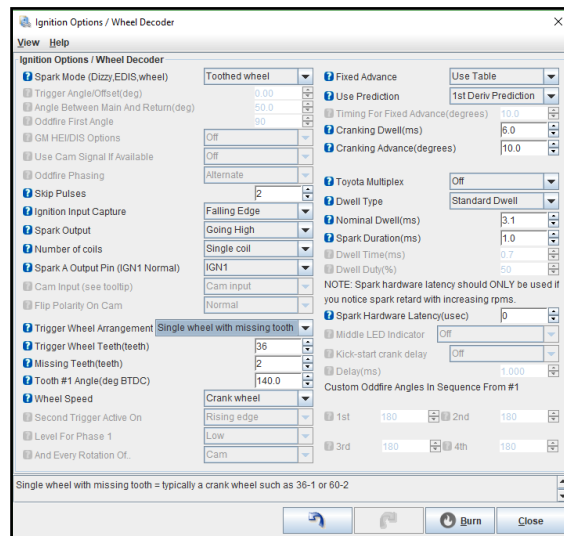


Figura 89. Codificación de la rueda fónica

Otro factor importante a calibrar es el encendido en frío, esta opción se la encuentra en el botón denominado “STARTUP/IDLE”, en donde se selecciona la segunda opción “PRIMING PULSE”, en la cual posteriormente se despliega una ventana, en la que se va a ajustar el primer pulso del inyector antes de que la ECU capte rotación del motor, esta tabla tiene como ejes “Y”, tiempo de inyección y eje “X”. temperatura de motor, donde la temperatura sea menor el tiempo será mayor y viceversa.

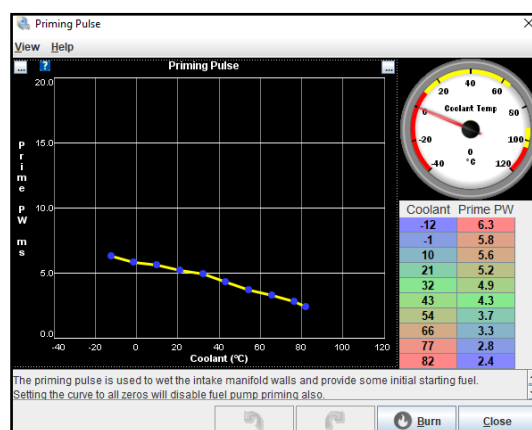


Figura 90. Ventana de priming pulse

3.12.3. Activación de actuadores

Para el perfecto funcionamiento del motor KTM es necesario tener señales de activación, en este caso se tiene que activar el electro ventilador, para ello, se ingresa en la opción “Boost/Advanced” en donde se da click en la última pestaña denominada con el nombre “Programmable on/off Output”, como se indica en la figura.

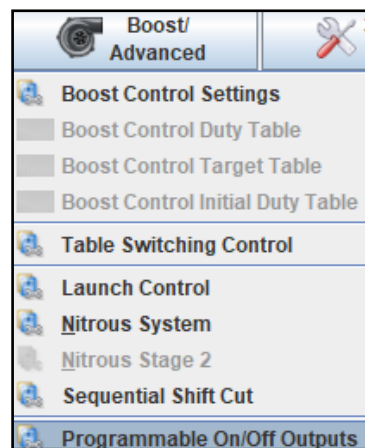


Figura 91. Menú para activación de salidas

Continuando con lo antes mencionado, se despliega una ventana en la cual se selecciona, el tipo de salida que se desee activar en este caso se optó por la salida “ALED”, esta salida se activa dando clic en el botón “Enable”, en la casilla inferior se selecciona que tipo de salida se necesita, en este caso la activación es del electro ventilador, por esta razón se selecciona “Coolant”. Continuando con la activación, se necesita indicar que el electro ventilador se encienda desde los 88°C y permanezca encendido durante 15°C, todos estos datos les refleja la siguiente figura.

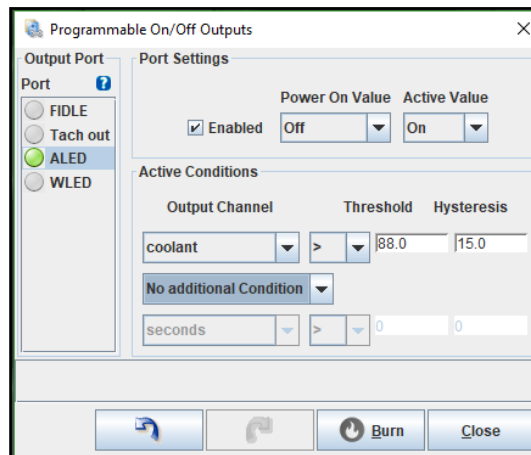


Figura 92. Activación de electroventilador

3.12.4. Calibración de sensores.

La calibración necesaria que se realizó, fueron del sensor de posición de la mariposa de aceleración, en donde es necesario entrar al menú “TOOLS” y seleccionando la opción “calibración de TPS” como se muestra en la siguiente figura.

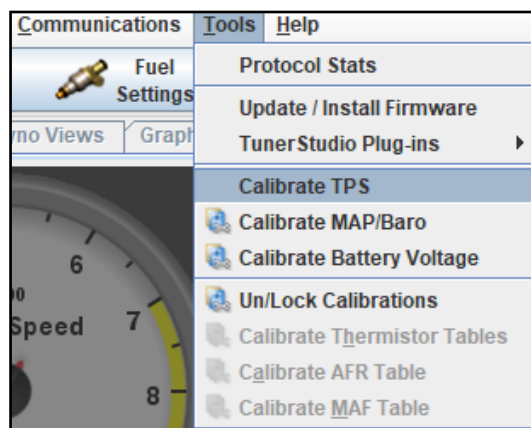


Figura 93. Calibración del sensor TPS

Al realizar el procedimiento anterior, se despliega una ventana en la que, se tiene que realizar la calibración de la siguiente manera como indica la siguiente figura.

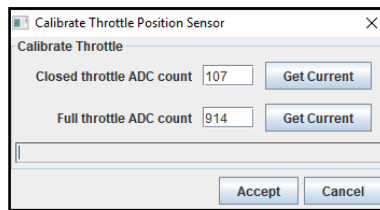


Figura 94. Ventana de calibración del sensor TPS

- Con el acelerador completamente cerrado, se selecciona el primer botón “Get Current”.
- Acelerar completamente y verificar que la mariposa de aceleración este completamente abierta.
- La barra indicada en la parte inferior de la ventana tiene que desplazarse y sin soltar el acelerador dar clic en el segundo botón “Get Current”.
- Finalmente queda calibrado y se verifica, que el reloj marcador señale correctamente la posición del sensor TPS.

Es importante señalar que la calibración del sensor MAP es indispensable, debido a que la ECU utiliza información, sobre la depresión que se genera en el múltiple de admisión del motor, para ello se necesita ir a la barra de tareas y señalar el botón “Tools”, en donde se elige la opción “Calibrate MAP”. Como lo indica la figura.



Figura 95. Calibración sensor MAP

En la primera pestaña se elige el tipo de sensor que se está utilizando y los valores

marcados en las casillas se cambian, en este caso se marcó la opción “MPX 4115”, por el tipo de sensor.

3.13. Mapas de eficiencia volumétrica y avance al encendido.

Para el control de la entrega de combustible, se modifica el mapa tridimensional, en donde los ejes cartesianos son: RPM, carga del motor, y porcentaje de eficiencia volumétrica, como se lo puede observar en la figura.

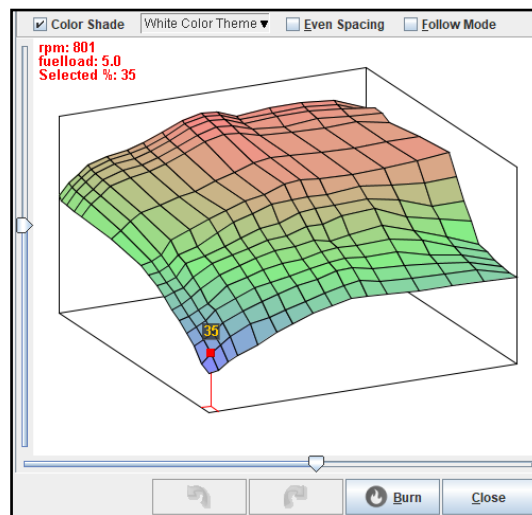


Figura 96. Mapa base de eficiencia volumétrica

Otro mapa a tener en cuenta es el de avance al encendido, este mapa tiene como ejes coordenados a las RPM (eje X), carga del motor (eje Y), y grados de avance al encendido (eje Z), para calibrar este mapa se debe tener mucha precaución, debido a que si se altera con valores exagerados se puede poner en riesgo la vida útil del motor.

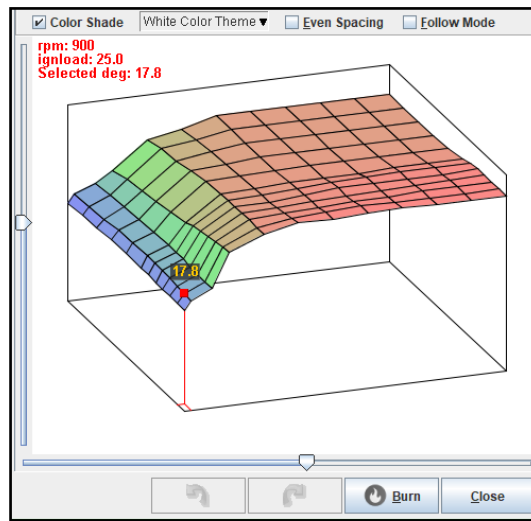


Figura 97. Mapa de encendido

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez realizada la implementación de sistema programable MICROSQUIRT, y realizada la puesta a punto de los sistemas eléctricos, electrónicos y mecánicos, se procedió a realizar la primera prueba sobre el dinamómetro utilizando los mapas base de eficiencia volumétrica y avance al encendido.

4.1. Primera prueba sobre el dinamómetro con el mapa base.

En la siguiente tabla se puede evidenciar el procedimiento ejecutado para la primera prueba sobre el dinamómetro.

Tabla 21

Pruebas de mapa base

Ítem	Descripción	Figura
1	El principal objetivo de la calibración, es hacer girar el motor a más RPM, para esto se tiene que modificar la Tabla VE, en el eje "X" y "Y", donde "X" serán las RPM's y en "Y" será la posición de la aleta de aceleración	

Figura 98. Tabla base VE

2	Mapa base VE, sin correcciones	
---	--------------------------------	--

Figura 99. Mapa base VE

CONTINUÍA →

- 3 Para una correcta sincronización del motor, también se organiza de la misma manera a la tabla de avance al encendido, colocando el limite a 13000 RPM, y que este varié de acuerdo a la posición del acelerador

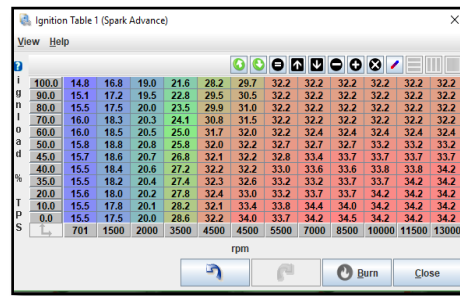


Figura 100. Tabla base de avance al encendido

- 4 Es de considerar que mezcla mayor a 14,7 es pobre y menor es rica. Siendo 14,7 la ideal. En la primera prueba sobre el dinamómetro, se obtuvo valores que variaban mucho en función de las RPM, así como se indica en la figura.

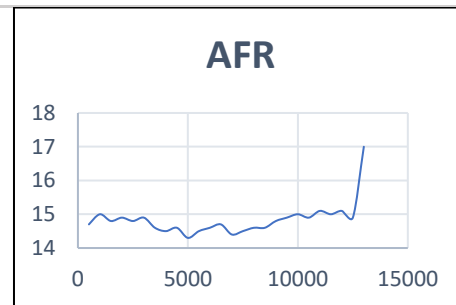


Figura 101. Relación Aire combustible

- 5 Se puede apreciar la potencia registrada por el dinamómetro al aplicar un mapa base de combustible y encendido

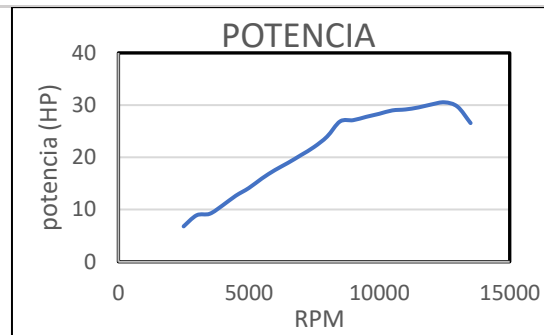


Figura 102. Potencia inicial con mapa base

- 6 La potencia de dicho motor es de 30.89 HP a 9000 RPM, con este dato se procedió a realizar una comparación, con el fin de verificar si existe algún incremento o decremento de potencia

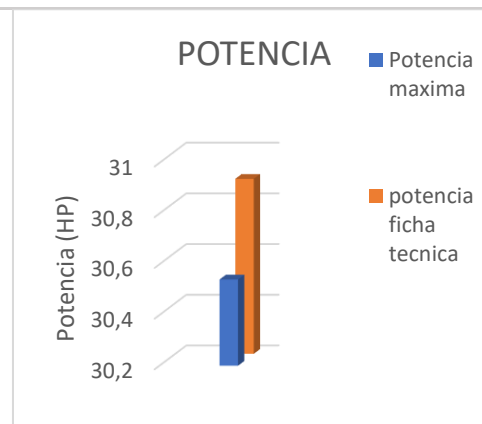


Figura 103. Comparación con la potencia dada por ficha técnica.

- 7 En la siguiente figura, se puede ver claramente la curva de Torque expresada en Nm, en la cual se obtuvo un torque máximo de 22.1 Nm

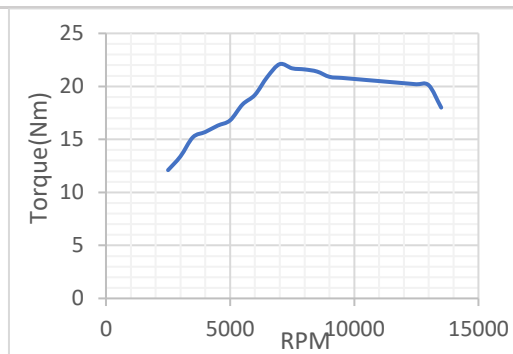


Figura 104. Curva de torque en la primera prueba

- 8 El torque máximo es de 24Nm a 7250 RPM, en la siguiente figura se puede apreciar la comparación del torque con un Mapa Base y el torque por ficha técnica.

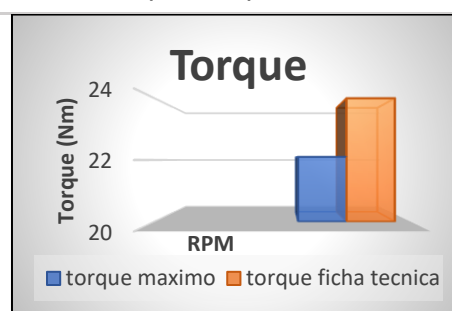


Figura 105. Torque con un Mapa base

En la siguiente tabla se aprecia el aumento de potencia, torque, y AFR en función de las RPM.

Tabla 22

Potencia, torque, y AFR en función de las RPM

RPM	AFR	POTENCIA	TORQUE
500	14,7		
1000	15		
1500	14,8		
2000	14,9	6,78	12,1
2500	14,8	8,91	13,4
3000	14,9	9,19	15,2
3500	14,6	10,82	15,7
4000	14,5	12,65	16,3
4500	14,6	14,12	16,8
5000	14,3	15,95	18,3
5500	14,5	17,56	19,2
6000	14,6	18,94	20,9
6500	14,7	20,43	22,1
7000	14,4	21,98	21,7
7500	14,5	23,98	21,6
8000	14,6	26,89	21,4

CONTINÚA →

RPM	AFR	POTENCIA	TORQUE
8500	14,6	27,12	20,9
9000	14,8	27,76	20,8
9500	14,9	28,34	20,7
10000	15	28,99	20,6
10500	14,9	29,17	20,5
11000	15,1	29,56	20,4
11500	15	30,13	20,3
12000	15,1	30,54	20,2
12500	14,9	29,7	20,1
13000	17	26,56	18

4.2. Cálculos sobre parámetros fundamentales para realizar la afinación.

Para empezar a afinar el motor KTM es necesario contar con los datos técnicos de los elementos principales que se utilizó, como es inyector y bobina de encendido.

4.2.1. Calculo de masa de aire que ingresa al motor.

Para realizar este cálculo es necesario considerar que, se va a tener variación en cuanto a la altura en donde se va a realizar la afinación, es decir la ciudad de Latacunga está a 2750 msnm, y el lugar en donde se desarrolló la competición estuvo a 350 msnm, tomando en cuenta esta variante física se procedió a calcular.

$$G_o = V_{cil} \times \delta_{aire}$$

Ecuación 13. Masa de aire

Donde:

G_o : masa de aire (g).

V_{cil} : volumen del cilindro (m³)

δ_{aire} : densidad de aire(kg/m³)

Masa de aire en condiciones ideales:

$$G_0 = V_{cil} \times \rho_{aire}$$

$$G_0 = (2.5 \times 10^{-4})m^3 \times (1.225) \frac{kg}{m^3}$$

$$G_0 = 3.0625 \times 10^{-4}Kg$$

$$G_0 = 0.306$$

Masa de aire en la ciudad de Latacunga:

$$G_1 = V_{cil} \times \rho_{aire}$$

$$G_1 = (2.5 \times 10^{-4})m^3 \times (0.9341) \frac{kg}{m^3}$$

$$G_1 = 2.33 \times 10^{-4}Kg$$

$$G_1 = 0.233$$

Masa de aire en MotorLand

$$G_2 = V_{cil} \times \rho_{aire}$$

$$G_2 = (2.5 \times 10^{-4})m^3 \times (1.18) \frac{kg}{m^3}$$

$$G_2 = 2.95 \times 10^{-4}Kg$$

$$G_2 = 0.295$$

4.2.2. Eficiencia Volumétrica.

El rendimiento de un motor a combustión interna puede variar, según diversas causas, una de ellas es la masa de aire, esta depende de la altura en donde se desarrolle la competición, y esta de la presión atmosférica, por esta razón es necesario

calcular la eficiencia volumétrica, en donde se realicen la afinación, y en donde se desarrolla la competición.

$$Nv = \frac{G1}{G0} \times 100$$

Ecuación 14. Eficiencia volumétrica.

Nv= eficiencia Volumétrica (%)

G0= masa de aire en condiciones ideales.

G1= masa de aire en la ciudad de Latacunga.

G2= masa de aire en MotorLand.

Eficiencia Volumétrica en la ciudad de Latacunga

$$Nv = \frac{G1}{G0} \times 100$$

$$Nv = \frac{0.233}{0.306} \times 100$$

$$Nv = 76.081\%$$

Eficiencia Volumétrica en MotorLand

$$Nv1 = \frac{G2}{G0} \times 100$$

$$Nv1 = \frac{0.295}{0.306} \times 100$$

$$Nv1 = 96.40\%$$

4.2.3. Velocidad de entrada de aire que ingresa al motor.

La velocidad que ingresa el aire al motor, depende en gran cantidad de la eficiencia

volumétrica, es decir a mayor velocidad, habrá un mejor llenado del cilindro, por consiguiente, habrá mayor cantidad en g de aire.

Las RPM que se utilizan son las que el motor brindara su máxima potencia es decir el corte de combustible.

$$vf = Go \times RPM$$

Ecuación 15. Velocidad de ingreso de aire al motor

En donde:

Vf= velocidad de ingreso de aire al motor (g/min).

Go= eficiencia Volumétrica (%).

RPM= revoluciones por minuto

Velocidad de ingreso de aire al motor, en la ciudad de Latacunga

$$vf = Go \times RPM$$

$$vf = (0.233)gx (12500)RPM$$

$$vf = 1456.25 \text{ g/min}$$

Velocidad de ingreso de aire al motor en MotorLand

$$vf = Go \times RPM$$

$$vf = (0.295)gx (12500)RPM$$

$$vf = 1843.75 \text{ g/min}$$

4.2.4. Masa de combustible a suministrar.

La masa de combustible a suministrar tiene una relación directamente proporcional con la eficiencia volumétrica, también hay que considerar la relación aire combustible, este dato importante se lo consigue cuando la moto esta sobre el dinamómetro y con la ayuda de un sensor de oxígeno de tipo WIDE BAND, nos brinda la relación estequiométrica exacta con la que está trabajando el motor, en todo su régimen de funcionamiento.

$$B = \frac{Vf}{AFR \times RPM}$$

Ecuación 16. Masa de combustible a suministrar.

Donde:

B: masa de combustible (g)

Vf: velocidad de entrada de aire(g/min).

AFR: relación aire combustible.

RPM: velocidad de giro del motor.

Masa de combustible requerida para Latacunga

$$B = \frac{Vf}{AFR \times RPM}$$

$$B = \frac{1456.25(g/min)}{11.9 \times 12500(rpm)}$$

$$B = 9.78 \times 10^{-3} g$$

Masa de combustible requerida para MotorLand

$$B = \frac{Vf}{AFR \times RPM}$$

$$B = \frac{1843.75}{11.9 \times 12500}$$

$$B = 0.0123 \text{ g}$$

La cantidad calculada en gramos es la masa que consumirá el motor en un solo ciclo, con este dato se conoce un valor estimado de consumo en un tiempo específico, se ha considerado que en una moto de competición no disminuirá de 8000 rpm en carrera, por lo que el cálculo se lo realizó de la siguiente manera,

Consumo de combustible para 8000 rpm.

$$0.0123g \times 8000 \text{ rpm} = 98.4 \text{ g/min}$$

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{g}{\delta}$$

$$v = \frac{98.4 \text{ g/min}}{0.68 \text{ g/cc}}$$

$$v = 144.12 \text{ cc/min}$$

4.2.5. Consumo específico de combustible

El consumo específico de combustible tiene relación al flujo másico de combustible y a la potencia del motor.

Consumo específico de combustible.

$$SFC = \frac{\dot{m}}{P}$$

Ecuación 17. Consumo específico de combustible.

$$SFC = \frac{5904 \left(\frac{g}{h}\right)}{26.09(Kw)}$$

$$SFC = 266,29 \frac{g}{Kw - h}$$

4.2.6. Tiempo de apertura del inyector.

El tiempo de apertura del inyector está relacionado fundamentalmente con las RPM a las que está trabajando el motor, este viene dado en ms.

$$N = \frac{60000}{2 \times \#I \times T}$$

Ecuación 18. Tiempo de apertura del inyector

Donde:

N: número de revoluciones.

T: tiempo de apertura del inyector.

$$T = \frac{60000}{2 \times \#I \times N}$$

$$T = \frac{60000}{2 \times 1 \times 12500}$$

$$T = 2.4 \text{ ms}$$

4.2.7. Ciclo de trabajo o Duty Cycle

El ciclo de trabajo de un inyector es más crítico a alto régimen de revoluciones, debido a que el inyector pasara el mayor tiempo del ciclo abierto, por este motivo se ha elegido las 12500 RPM en donde se realizó el corte de combustible, es recomendable que el ciclo de trabajo de un inyector no sobrepase el 50% DT para su óptimo funcionamiento.

$$CT = \frac{ti}{ti \times tc} 100$$

Ecuación 19. Ciclo de trabajo

Donde:

Ti: tiempo optimo del inyector

Tc: tiempo real del inyector

CT: ciclo de trabajo (%)

$$CT = \frac{ti}{ti \times tc} 100$$

$$CT = \frac{1.2}{2.4} 100$$

$$CT = 50\%$$

Al calcular la presión media indicada se podrá conocer los valores exactos de los diferentes rendimientos, como es el rendimiento térmico, mecánico, indicado, efectivo.

Presión media efectiva

$$pi = \left(\frac{L1}{Vh} \right)$$

Ecuación 20: presión media efectiva

Donde:

L1: trabajo indicado por los gases de la combustión (Nm)

Vh: cilindrada del motor (m³)

$$pi = \left(\frac{27.61Nm}{2.5m^3} \right)$$

$$pi = 11.04N/m^2$$

A continuación, se procederá a calcular los diferentes rendimientos de un motor a combustión interna.

Rendimiento térmico.

$$nt = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \text{Ecuación 21: rendimiento térmico}$$

Donde:

Nt: Rendimiento térmico

ε : Relación de compresión.

K: Coeficiente adiabático.

$$nt = 1 - \frac{1}{12.5^{1.4-1}}$$

$$nt = 0.6358$$

Rendimiento indicado.

$$ni = \frac{Ni}{B \times Q_m^a} \quad \text{Ecuación 22: rendimiento indicado}$$

Donde:

ni: Rendimiento indicado.

Ni: Potencia indicada (Kw).

B: Flujo másico de combustible (Kg/seg).

Q_m: Poder calorífico del combustible (KJ/Kg)

$$n_i = \frac{26.09 \text{ Kw}}{(1.64 \times 10^{-3})(\text{Kg/s})(43950) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}\right)}$$

$$n_i = 0.3619$$

Rendimiento mecánico.

$$nm: \frac{N_e}{N_i} \quad \text{Ecuación 23: Rendimiento mecánico}$$

Donde:

Ne: Potencia efectiva (Kw).

nm: rendimiento mecánico.

$$nm = \frac{22.37 \text{ Kw}}{26.09 \text{ Kw}}$$

$$nm = 0.8574$$

Rendimiento efectivo.

$$n_e = \frac{N_E}{B \times Q_m^a} \quad \text{Ecuación 24: Rendimiento Efectivo}$$

$$n_e = \frac{22.37 \text{ Kw}}{(1.64 \times 10^{-3}) \times 43950 \left(\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}\right)}$$

$$n_e = 0.3103$$

Una vez realizado los cálculos, se puede conocer el tiempo máximo que soporta el inyector y la bobina de encendido, y la cantidad de combustible a suministrar.

4.3. Segunda prueba sobre el dinamómetro y Calibración de Mapa Ve

Para empezar a cambiar los parámetros, de eficiencia volumétrica se verificó los cálculos, en donde se expresa que la máxima potencia de un motor se obtiene cuando el AFR es de 12.1 a 12.6, de esta manera se elabora un mapa lo más lineal, partiendo desde ralentí, que en este caso es de 1400 rpm.

Tabla 23

Segunda prueba con mapa mejorado

Ítem	Descripción	Figura
------	-------------	--------

1 Se elabora un mapa de combustible más lineal que no tenga huecos ni picos.

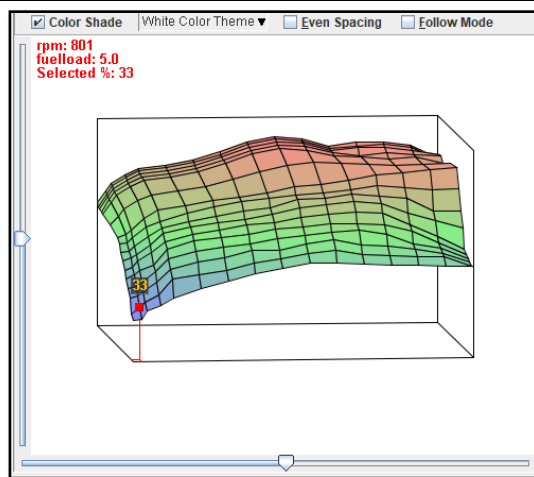


Figura 106. Mapa VE aumentando el porcentaje de combustible

2 Se aumentó en un 7% el avance de combustible en la zona alta

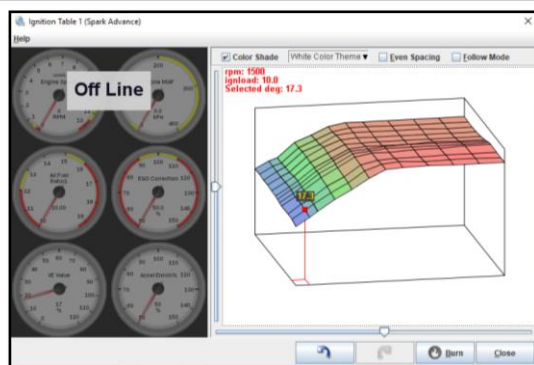


Figura 107. Mapa de encendido

CONTINÚA →

3 En las mediciones que se tomó en el dinamómetro, se obtuvo una mezcla más rica, como se muestra en la figura

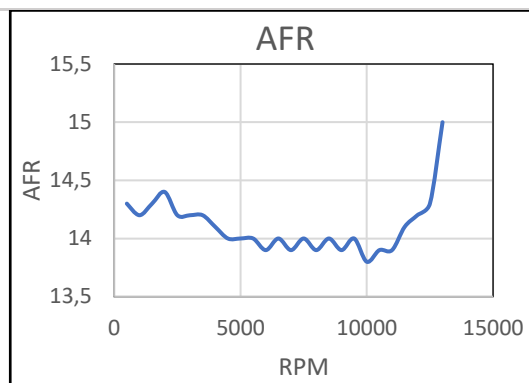


Figura 108. Curva AFR

4 En la curva de potencia se obtuvo buenos resultados debido a que se pudo incrementar la potencia, se puede evidenciar en la figura

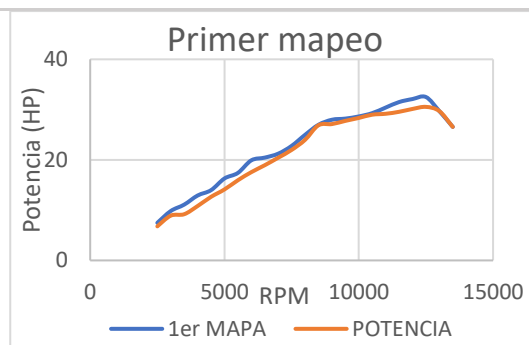


Figura 109. Aumento de potencia

5 En el dinamómetro se pudo comprobar que se dio un aumento la potencia, en la figura comparativa se puede expresar de mejor manera el aumento de potencia en relación con el mapa base

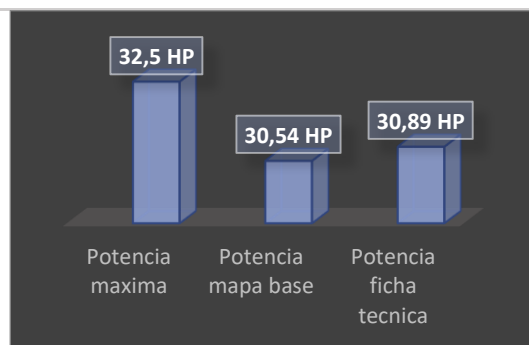


Figura 110. Comparativa de potencia

6 La curva de torque se evidencia en la siguiente figura

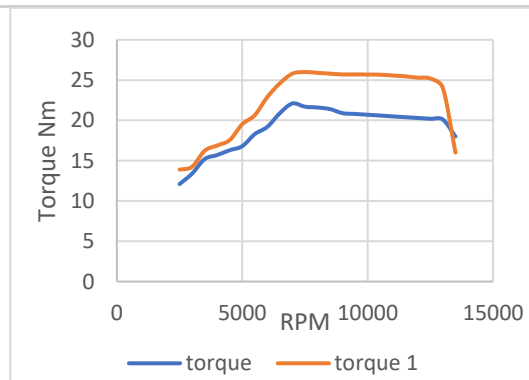


Figura 111. Curva comparativa con el mapa base

- 7 El aumento de torque se evidencia en la figura comparativa, el aumento de torque fue de 4 Nm

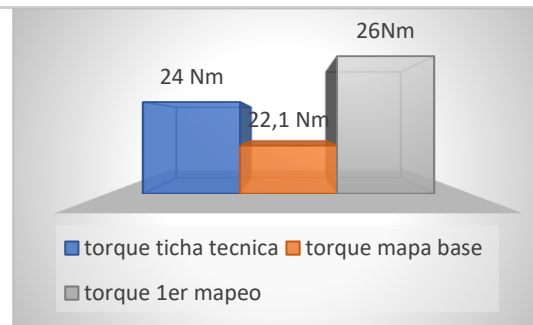


Figura 112. Comparación de torque

En la siguiente tabla se aprecia el aumento de potencia y torque en todo el rango de revoluciones, también se tiene una apreciación de AFR.

Tabla 24.

Potencia, torque AFR

RPM	AFR	POTENCIA 1 (HP)	TORQUE 1 (Nm)
500	14,3		
1000	14,2		
1500	14,3		
2000	14,4	7,48	13,9
2500	14,2	9,83	14,24
3000	14,2	11,1	16,23
3500	14,2	12,91	16,89
4000	14,1	13,98	17,56
4500	14	16,3	19,53
5000	14	17,41	20,65
5500	14	19,91	22,9
6000	13,9	20,45	24,6
6500	14	21,23	25,8
7000	13,9	22,78	26
7500	14	24,98	25,9
8000	13,9	26,98	25,8
8500	14	27,98	25,7
9000	13,9	28,21	25,71
9500	14	28,64	25,69
10000	13,8	29,29	25,67
10500	13,9	30,4	25,57
11000	13,9	31,5	25,47
11500	14,1	32,1	25,3
12000	14,2	32,5	25,2
12500	14,3	29,7	24
13000	15	26,56	16

4.4. Tercera prueba sobre el dinamómetro.

Para la segunda parte del tuneo se modificó el mapa VE con el fin de homogenizar la mezcla en todo el rango de RPM, y encontrar el punto en donde sacar mayor provecho al motor, así como también modificar el mapa de avance al encendido, con el fin de optimizar el quemado de la mezcla.

Tabla 25.

Afinamiento y optimización mapas VE y avance al encendido

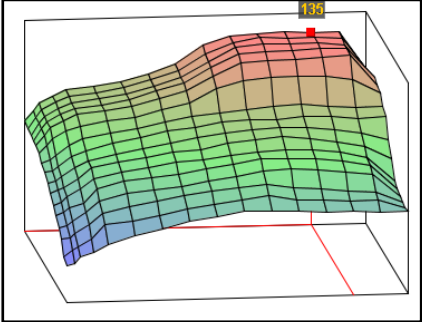
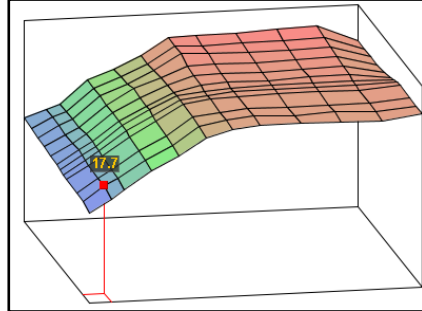
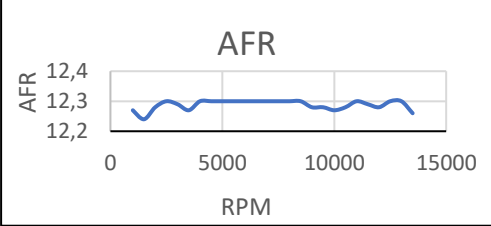
Ítem	Descripción	Figura
1	Al incrementar la cantidad de combustible al motor, es necesario cambiar el avance al encendido, con el fin de optimizar el punto de quemado, esto se lo realiza modificando el mapa de ignición	
2	En la siguiente figura se evidencia el mapa de avance al encendido, después de realizar las correspondientes correcciones, adelantando en ciertas partes del mapa hasta un 3%	
3	En esta prueba sobre el dinamómetro se pudo determinar una mezcla más homogénea, en todo el rango de revoluciones, se puede ver claramente que la mezcla varía entre 12.3, es muy estable.	

Figura 113. Mapa VE final

Figura 114. Mapa final de adelante al encendido

Figura 115. AFR lineal optimizada

- 4 Es importante mencionar que, al ajustar todos los parámetros característicos del motor, aumentó considerablemente la potencia, se evidencia en la figura.

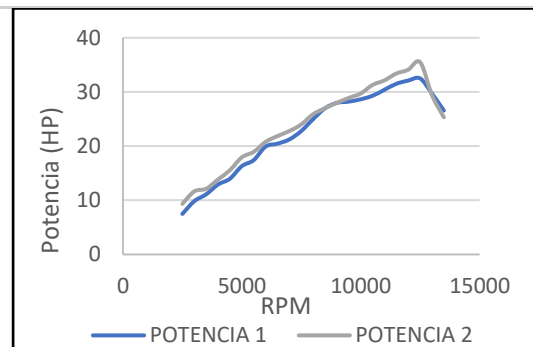


Figura 116. Aumento de potencia final

- 5 En la figura se aprecia el aumento de potencia entre un mapa base y un Mapa configurado y optimizado, el incremento de potencia se puede ver claramente que es en altas RPM, y en todo el rango de RPM la potencia es más lineal.

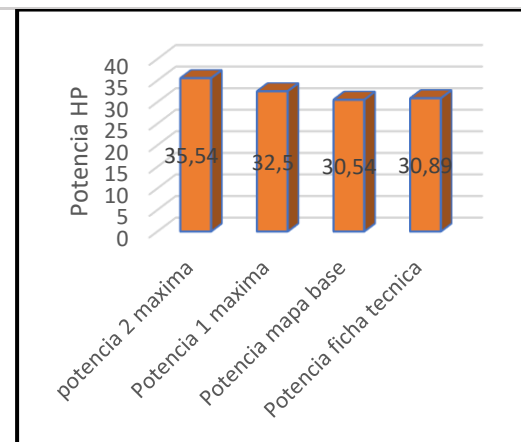


Figura 117. Comparación de potencias

- 6 Mediante la figura se puede entender de mejor manera el comportamiento del motor, el aumento de torque es considerablemente alto desde bajo régimen de RPM, y en altas RPM, el torque se mantiene lineal.

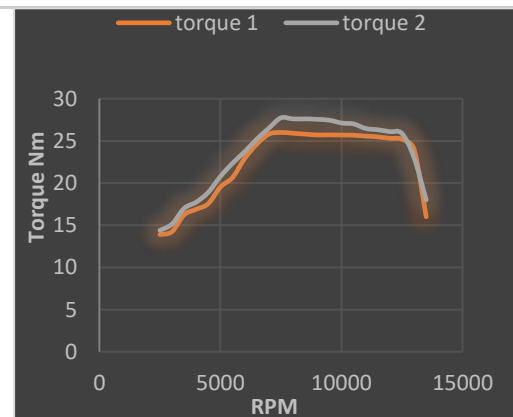


Figura 118. Comparación de torques

CONTINÚA →

- 7 Se puede evidenciar el aumento de torque en todas las pruebas que se realizaron, al variar el avance al encendido y la cantidad de combustible suministrada, el aumento de torque es evidente.

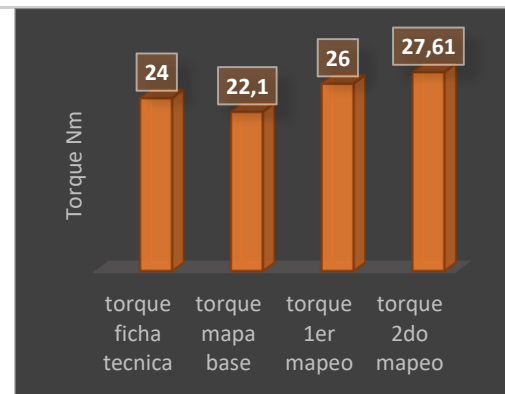


Figura 119. Comparación de torque de las diferentes pruebas.

Tabla 26

Tabla de datos en función a RPM y AFR

RPM	AFR	POTENCIA 2 (HP)	TORQUE 2 (Nm)
1000	12,27		
1500	12,24		
2000	12,28	9,33	14,39
2500	12,3	11,64	15,13
3000	12,29	12,12	16,99
3500	12,27	13,84	17,73
4000	12,3	15,55	18,9
4500	12,3	17,93	20,78
5000	12,3	18,93	22,35
5500	12,3	20,78	23,7
6000	12,3	21,85	25,2
6500	12,3	22,78	26,5
7000	12,3	24	27,73
7500	12,3	25,89	27,6
8000	12,3	26,99	27,61
8500	12,3	27,99	27,55
9000	12,28	28,9	27,45
9500	12,28	29,71	27,12
10000	12,27	31,29	27,01
10500	12,28	32,13	26,47
11000	12,3	33,4	26,32
11500	12,29	34,1	26,09
12000	12,28	35,5	25,87
12500	12,3	29,4	23
13000	12,3	25,32	18

En la siguiente tabla se puede identificar el aumento de potencia en todo el rango de RPM.

Tabla 27*Comparativa de aumento de potencia.*

RPM	POTENCIA (HP)	POTENCIA 1 (HP)	POTENCIA 2 (HP)
500			
1000			
1500			
2000			
2500	6,78	7,48	9,33
3000	8,91	9,83	11,64
3500	9,19	11,1	12,12
4000	10,82	12,91	13,84
4500	12,65	13,98	15,55
5000	14,12	16,3	17,93
5500	15,95	17,41	18,93
6000	17,56	19,91	20,78
6500	18,94	20,45	21,85
7000	20,43	21,23	22,78
7500	21,98	22,78	24
8000	23,98	24,98	25,89
8500	26,89	26,98	26,99
9000	27,12	27,98	27,99
9500	27,76	28,21	28,9
10000	28,34	28,64	29,71
10500	28,99	29,29	31,29
11000	29,17	30,4	32,13
11500	29,56	31,5	33,4
12000	30,13	32,1	34,1
12500	30,54	32,5	35,5
13000	29,7	29,7	29,4
13500	26,56	26,56	25,32

En la siguiente tabla se aprecia el aumento de torque en todo el rango de RPM.

Tabla 28

Aumento de torque en cada una de las pruebas.

RPM	Torque (Nm)	torque 1 (Nm)	torque 2 (Nm)
500			
1000			
1500			
2000			
2500	12,1	13,9	14,39
3000	13,4	14,24	15,13
3500	15,2	16,23	16,99
4000	15,7	16,89	17,73
4500	16,3	17,56	18,9
5000	16,8	19,53	20,78
5500	18,3	20,65	22,35
6000	19,2	22,9	23,7
6500	20,9	24,6	25,2
7000	22,1	25,8	26,5
7500	21,7	26	27,73
8000	21,6	25,9	27,6
8500	21,4	25,8	27,61
9000	20,9	25,7	27,55
9500	20,8	25,71	27,45
10000	20,7	25,69	27,12
10500	20,6	25,67	27,01
11000	20,5	25,57	26,47
11500	20,4	25,47	26,32
12000	20,3	25,3	26,09
12500	20,2	25,2	25,87
13000	20,1	24	23
13500	18	16	18

4.5. Pruebas de consumo de combustible.

Para las pruebas de consumo de combustible es importante mencionar que se lo realizó en la ciudad de Quito a 2850 msnm, con una temperatura ambiente promedio de 16°C realizadas el día 2 de diciembre de 2018.

Las pruebas se las realizaron en la calle Sozoranga, en un circuito cerrado, sin la presencia de otros vehículos en la vía, con un manejo constante a 6500 RPM en 1ra y 2da marcha.

En la siguiente figura se observa el circuito que consta de 558 m de distancia, el cual se recorrió 10 vueltas al circuito, es decir 5,58km, es importante mencionar que no tiene ningún grado de inclinación.



Figura 120. Circuito en donde se realizaron las pruebas

Para dar inicio a cada prueba se cargó un volumen de combustible de 2Lt. con la ayuda de un recipiente graduado, como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 121. Recipiente graduado de 1lt de combustible

Con el fin de estabilizar las revoluciones del motor y que estas sean constantes, se procedió a ajustar las RPM máxima con la ayuda del Software TunerStudio MS. La prueba de consumo de combustible se la realizó a 6500 RPM, como se evidencia en la siguiente figura.

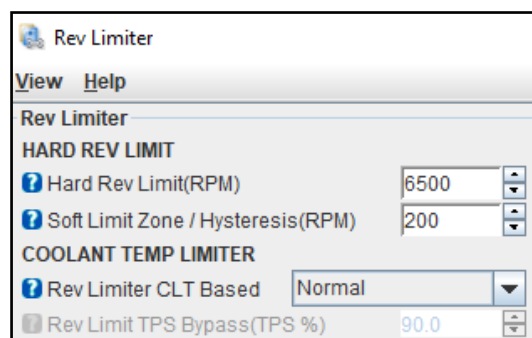


Figura 122. Revoluciones máximas para la prueba de consumo

4.5.1. Primera prueba de consumo con mapa base.

Al terminar la prueba en ruta, se procedió a verificar el volumen restante en el tanque de combustible.



Figura 123. Volumen sobrante tras las pruebas realizadas

En la siguiente tabla se pudo encontrar los volúmenes utilizados durante la prueba.

Tabla 29

Consumo de combustible

Combustible	Volumen utilizado (ml)
Vol. Consumido.	550 ml
Vol. Extraído.	1450 ml
Vol. Total	2000 ml

4.5.2. Segunda prueba de consumo de combustible

En la segunda prueba de consumo se tomó el mismo protocolo de la prueba anteriormente redactada, dicho esto se procedió a realizar la prueba, con el mapa de combustible de la primera reprogramación.

Una vez realizadas las pruebas se procedió a tomar los valores del volumen sobrante en el tanque de combustible, estos datos se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 30

Datos de la segunda prueba de consumo

Combustible	Volumen utilizado (ml)
Vol. Consumido.	610 ml
Vol. Extraído.	1390 ml
Vol. Total	2000 ml

4.5.3. Tercera prueba de consumo de combustible.

Aplicando el mismo protocolo de las pruebas anteriores se analizó el volumen consumido de combustible y el volumen extraído del tanque de combustible, al aplicar los mapas en donde se obtuvo mayor potencia, como se puede ver en la siguiente

tabla.

Tabla 31

Tercera prueba de combustible

Combustible	Volumen utilizado (ml)
Vol. Consumido.	665 ml
Vol. Extraído.	1335 ml
Vol. Total	2000 ml

Al terminar las pruebas de consumo de combustible se procedió a analizar y a comparar cada prueba como se evidencia en la siguiente figura.

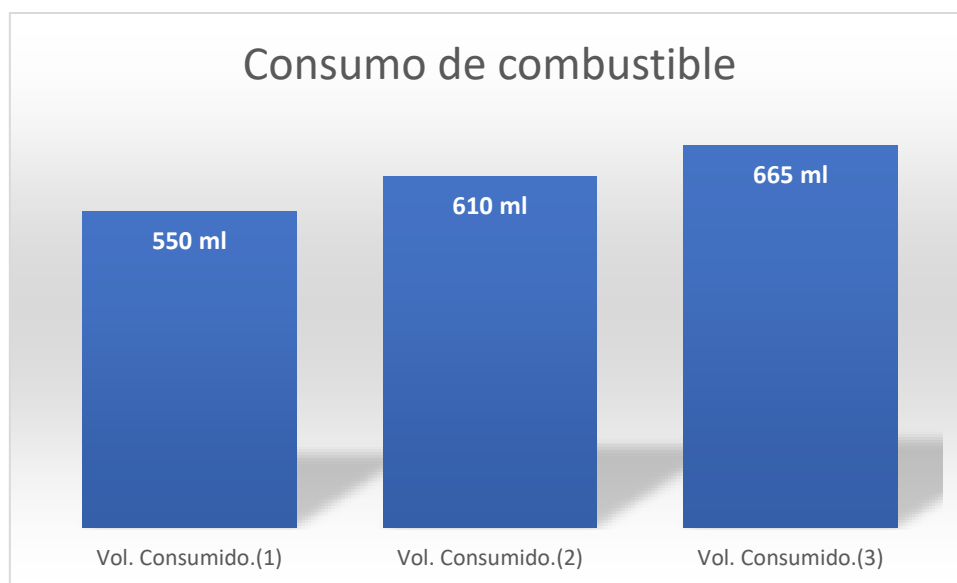


Figura 124. Comparación de consumo tras cada reprogramación

Tras realizar las pruebas de consumo de combustible, evidentemente el consumo de combustible fue proporcional a la curva de potencia, es decir a medida que fue incrementando la potencia, el consumo fue mayor.

4.6. Prueba de emisiones de gases.

Para esta prueba se ha utilizado el equipo AGS- 688 el cual está a disposición en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el laboratorio de autotrónica.



Figura 125. Analizador de gases AGS-688

Para la medición se utilizó los siguientes elementos.

Tabla 32

Equipos de medición utilizados

Elemento	Figura
Ordenador	

Figura 126. Ordenador del equipo

CONTINÚA →

Analizador de gases.



Figura 127. Equipo de medición

Sonda de gases.



Figura 128. Sonda de gases.

Medidor de rpm



Figura 129. Toma de RPM

Cable serial.



Figura. 130. Conectores para mediciones

4.6.1. Instrucciones antes de realizar las mediciones

- Calibración del equipo de medición antes de su uso.
- Mantener la moto en óptimas condiciones eléctricas, como son los componentes (batería, regulador de voltaje, generador de voltaje).
- Mantener el reporte actuar tras cada medición realizada

4.6.2. Proceso de prueba y mediciones.

- Conectar las sondas de temperatura del motor.
- Conectar la sonda de toma de gases.
- Conectar los lagartos en la batería de la moto.
- Calibrar los equipos.

Una vez calibrado los equipos y conectado todas las sondas se realizó dos pruebas, a diferente régimen de revoluciones, en ralentí, es decir a 1500 RPM y a 6500 RPM, a medio régimen.

4.7. Primera prueba de emisiones de gases.

Antes de realizar las pruebas se cargó el mapa base, con el que se obtuvo valores iniciales de potencia y torque, en la siguiente tabla se puede evidenciar los valores de gases contaminantes.

Tabla 33*Emisiones de gases en ralentí 1500 rpm con el mapa base*

Tipo de gas	Valor
CO [%]	2.12
CO2 [%]	10.12
HC [ppm]	212
O2 [%]	1,23
NO [ppm]	125
Lambda	1.213

Se realizó el análisis a 6500 rpm, en la siguiente tabla se evidencia los resultados.

Tabla 34*Emisiones de gases a 6500 rpm*

Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,22
CO2 [%]	10.98
HC [ppm]	219
O2 [%]	8.13
NO [ppm]	83
Lambda	1.168

4.8. Segunda prueba de emisiones de gases.

Para realizar la segunda prueba de emisiones de gases, se cargó el mapa con las primera reprogramaciones, posterior a esto, se realizó las pruebas, los datos se los puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 35*Emisiones de gases en ralentí 1500 rpm*

Tipo de gas	Valor
CO [%]	1.15
CO2 [%]	11.7
HC [ppm]	232
O2 [%]	1,68
NO [ppm]	112
Lambda	1.091

Se realizó el análisis a 6500 rpm, en la siguiente tabla se evidencia los resultados.

Tabla 36

Emisiones de gases a 6500 rpm

Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,24
CO2 [%]	11,013
HC [ppm]	228
O2 [%]	6.71
NO [ppm]	78
Lambda	0.98

4.9. Tercera prueba de emisiones de gases.

En la siguiente tabla se refleja el resultado generados por el equipo de medición a 1500 rpm, con una relación estequiométrica 12.5 con la que se tuvo máxima potencia.

Tabla 37

Emisiones de gases en ralentí 1500 rpm

Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,18
CO2 [%]	12,2
HC [ppm]	242
O2 [%]	1,98
NO [ppm]	125
Lambda	0.97

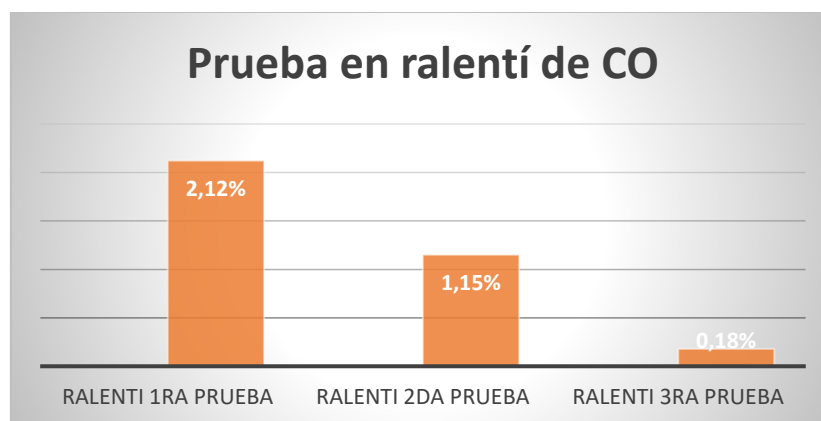
Se realizó el análisis a 6500 rpm, en la siguiente tabla se evidencia los resultados.

Tabla 38*Emisiones de gases a 6500 rpm*

Tipo de gas	Valor
CO [%]	0,35
CO2 [%]	11,2
HC [ppm]	212
O2 [%]	5,21
NO [ppm]	98
Lambda	0.93

4.10. Análisis de emisiones contaminantes.

Se empezó a analizar cada uno de los gases contaminantes, comparando con distintos mapas, en la siguiente imagen se observa la tendencia el CO en ralentí.

**Figura 131.** Comparación de monóxido de carbono.

En la siguiente figura se expresa la comparación de monóxido de carbono a 6500 rpm.

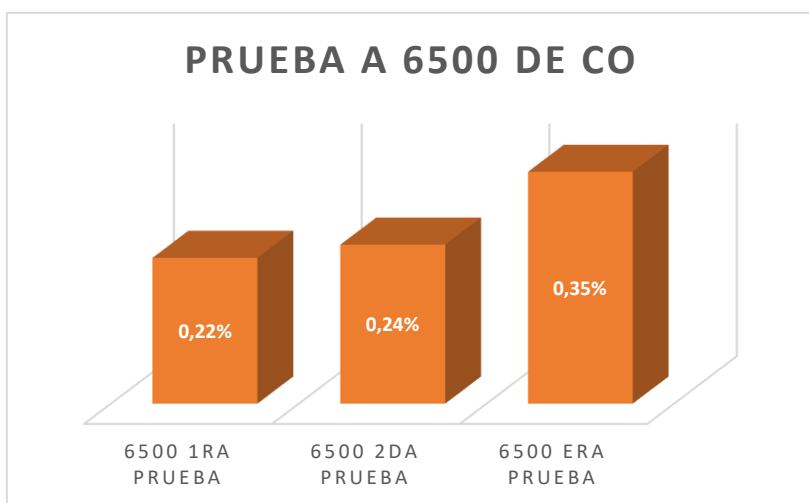


Figura 132. Comparación de monóxido de carbono a 6500

En la siguiente figura se apreciar la comparación del dióxido de carbono en ralenti a 1500 RPM.

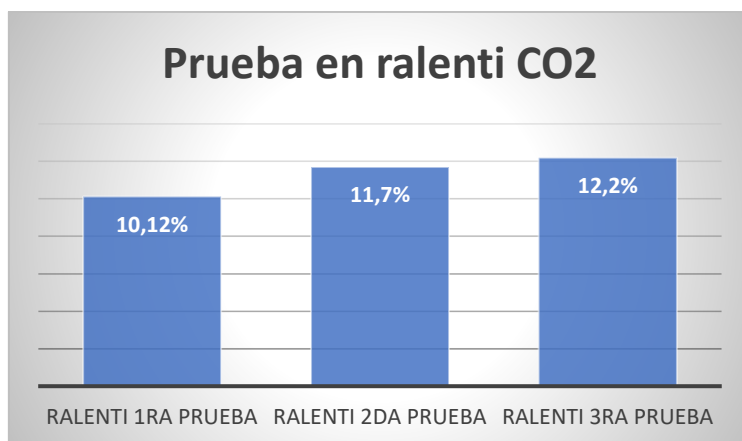


Figura 133. Comparativa de dióxido de carbono.

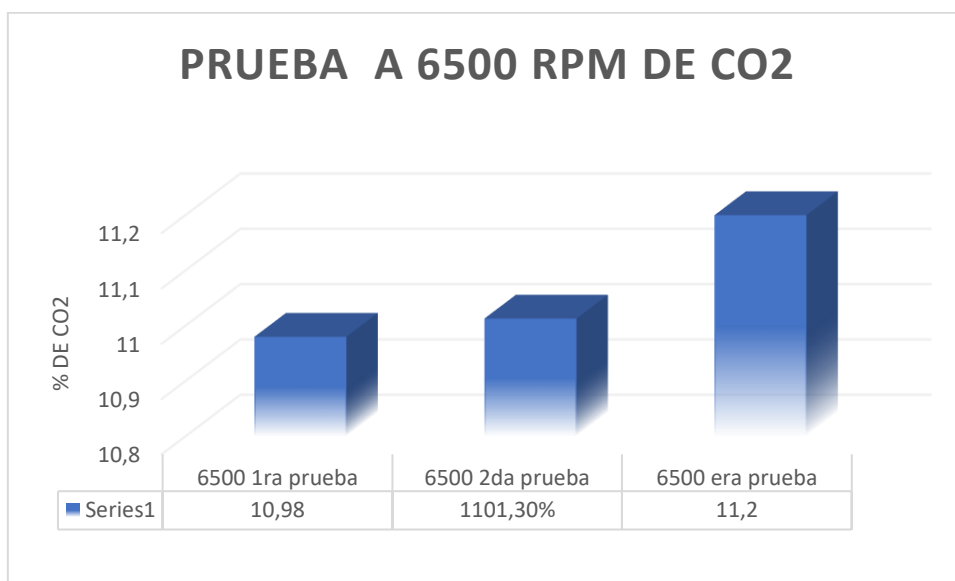


Figura 134. Comparación de CO2 en las 3 diferentes pruebas.

En la siguiente figura se puede evidenciar la comparación de aumento de hidrocarburos a 1500 rpm.

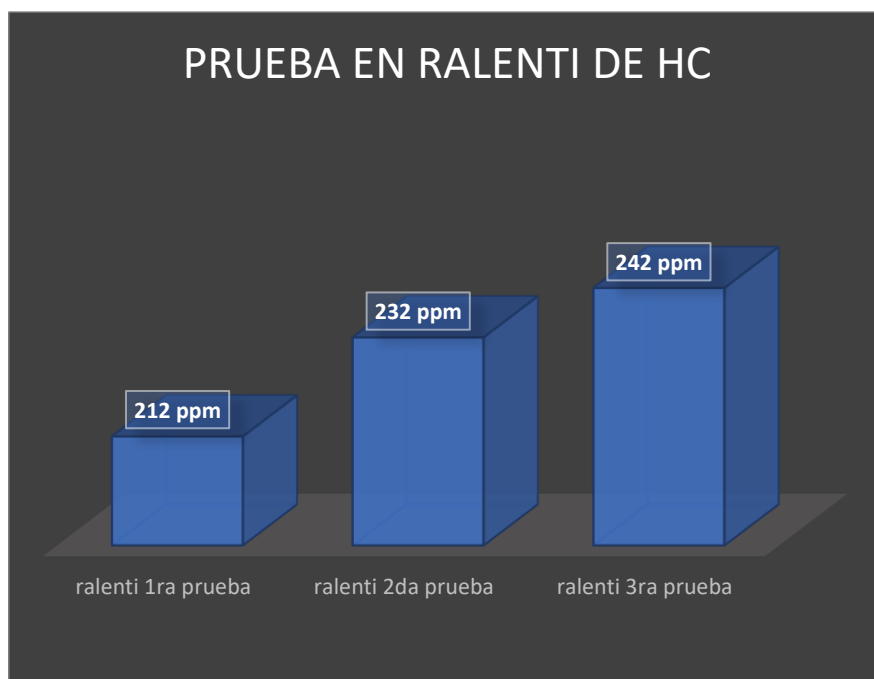


Figura 135. Comparación de hidrocarburos.

En la siguiente figura se puede evidenciar la comparación de hidrocarburos a régimen medio a 6500 RPM.

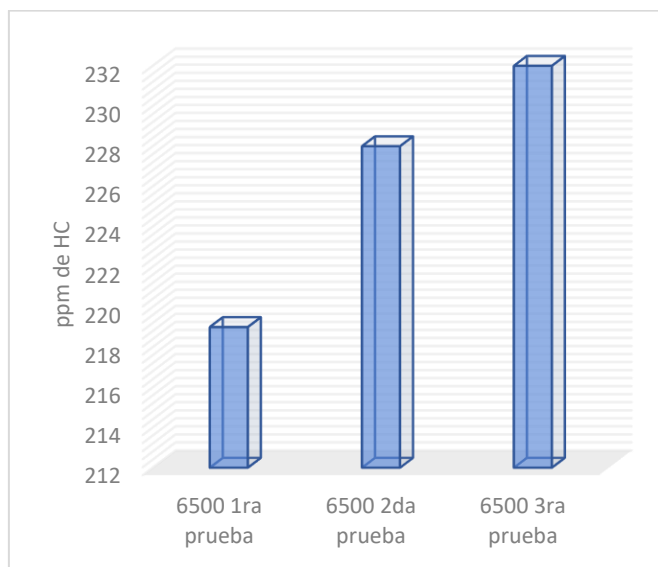


Figura 136. Prueba de hidrocarburos a régimen medio

En la siguiente figura se puede mostrar la comparación de residuos de O₂ después de hacer cada una de las reprogramaciones en ralentí y a medio régimen.

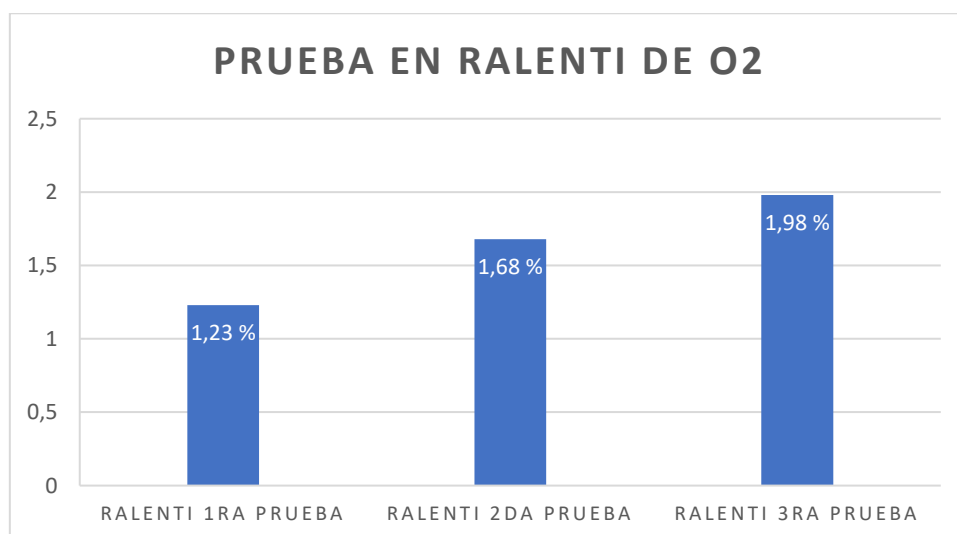


Figura 137. Datos de O₂ de cada reprogramación

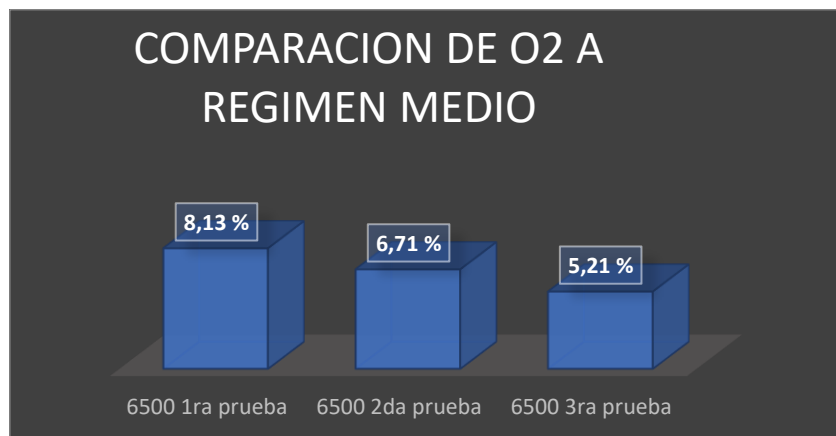


Figura 138. Datos de O₂ a medio régimen.

En la siguiente figura se puede observar la comparación de NO en ralentí después de cada reprogramación.

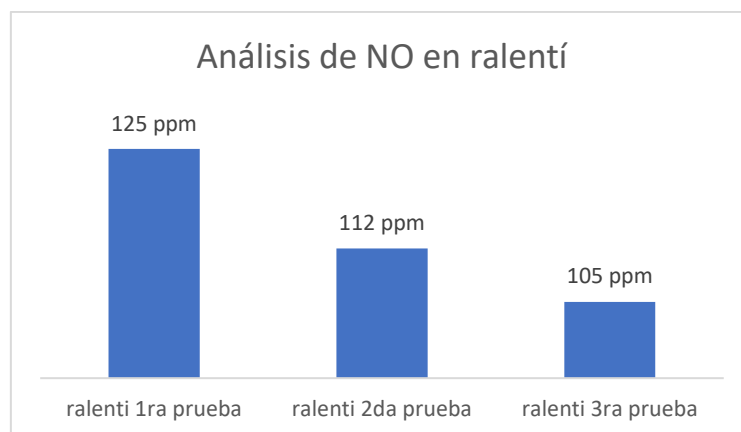


Figura 139. Análisis de NO posterior a cada reprogramación.

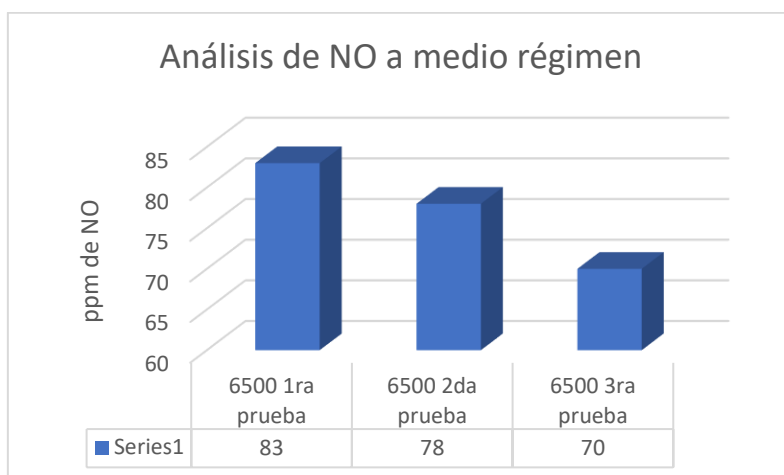


Figura 140. Análisis de NO a medio régimen.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos.

Para desarrollar el proyecto “INVESTIGACIÓN DEL DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA 250CC PARA LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT AL IMPLEMENTAR UN SISTEMA PROGRAMABLE MICROSQUIRT” fue de imprescindible importancia el uso de los recursos humanos, tecnológicos, materiales y financieros, con la finalidad de cumplir objetivos y metas proyectadas al inicio esta investigación.

5.2. Recursos humanos

El recurso humano que brindo importante ayuda en el desarrollo de esta investigación se detalla en la siguiente tabla, considerando a personas especializadas en el campo de la investigación, electrónica automotriz, y mecánica.

Tabla 39

Recursos humanos participes del proyecto de investigación

Recursos humanos	Veloz Domínguez Jefferson Wladimir	Investigador
	Ing. Germán Erazo	Director del proyecto
	Ing. José Quiroz	Jefe laboratorio autotrónica (Uso de laboratorio)
	Ing. Leónidas Quiroz	Jefe de Laboratorio Mecánica de patio (Uso de equipos de medición)
	Ing. Luis Mena	Líder del proyecto MOTOSTUDENT

5.3. Recursos tecnológicos.

El desarrollo del proyecto de investigación, conllevó el uso de componentes de última tecnología, como es una ECU MICROSQUIRT, una computadora de última generación, Software dedicado como es TunerStudio MS, el cual ayudo a controlar un motor de combustión interna utilizado para la V edición del MOTOSTUDENT, existe también elementos extras que me mencionan en la siguiente tabla.

Tabla 40

Componentes tecnológicos utilizados

Ítem	Detalles
1	Unidad electrónica de control MICROSQUIRT
2	Software TUNERSTUDIO MS
3	Ordenador
4	Cable serial de comunicación
5	Multímetro automotriz
6	Dinamómetro
7	Lampara de pruebas
8	Internet

5.4. Recursos materiales.

Una parte esencial para la construcción del proyecto de investigación fueron recursos materiales, los que ayudaron a construir un sistema de inyección de alto desempeño, con un arnés de alta calidad, con la ayuda de herramientas especiales que facilitaron su construcción, en la siguiente tabla se podrá observar el detalle de materiales utilizados.

Tabla 41*Recursos materiales utilizados durante el proyecto*

Ítem	Componente
1	Cableado de alta calidad número #14 y #16
2	Cinta aislante
3	Plástico termo-encogible
4	Cautín
5	Estaño
6	Fusibles
7	Relés
8	Abrazaderas plásticas
9	Terminales
10	Sockets
11	Manguera plástica corrugada
12	Tornillos
13	Tornillos autoperforantes
14	Automático de arranque
15	Pulsadores
16	Switch ON/OFF
17	Pomada
18	Pinza
19	Cortafrío
20	Llaves mixtas
21	Juego de dados
22	Líquido refrigerante
23	Combustible
24	Mangueras resistencia a combustibles
25	Aceite de motor

5.5. Análisis de presupuesto invertido en el proyecto de investigación.

Para el desarrollo del proyecto de investigación, fue importante la inversión de recursos económicos, los cuales se destinaron para la investigación, implementación, pruebas, entre otros, en la siguiente tabla se detalla la inversión total.

Tabla 42*Recursos económicos*

Ítem	Detalle	Cantidad	Precio unitario	Total
1	ECU MICROSQUIRT	1	\$450	\$450
2	Cuerpo de aceleración	1	\$170	\$170
3	Bomba de combustible	1	\$150	\$150
4	Cables #14 #16	1	\$20	\$20
5	Terminales	5	\$5	\$25
6	Electro ventilador	1	\$125	\$125
7	Bobina de encendido	1	\$40	\$40
8	Otros	1	\$40	\$40
9	Viáticos	1	\$10	\$10
10	Imprevistos	1	\$10	\$10
			total	\$1040

La totalidad de la inversión realizada en el proyecto de investigación fue un total de \$1040, cuyo financiamiento se cubrió en su totalidad por parte de Jefferson Wladimir Veloz Domínguez.

CONCLUSIONES

Una vez culminado el proyecto de investigación se concluye que:

- Se determinó componentes, eléctricos, electrónicos, mecánicos compatibles en su totalidad con la unidad electrónica de control MICROSQURT.
- Se realizó la implementación del sistema reprogramable MICROSQURT, utilizando componentes de calidad, que garantizan su funcionamiento en las condiciones más exigentes, como es el mundo de la competición.
- Se elaboró tablas y mapas tridimensionales, de eficiencia volumétrica y avance al encendido configurados por sensor TPS, basados en la relación estequiométrica ideal 14,7:1.
- Se realizó cálculos en función al combustible a suministrar, la masa de aire que ingresa al motor, la eficiencia volumétrica a la altura de la ciudad de Latacunga y a 350 msnm, en donde se desarrolló la competencia MOTOSTUDENT.
- Se determinó que para obtener la mayor potencia y torque del motor KTM 250 cc, la mezcla de aire y combustible debe estar entre 12,4 y 12,6 medidos por WIDE BAND, de esta manera se elaboró mapas tridimensionales para un máximo rendimiento de dicho motor.
- Se realizó pruebas de torque y potencia sobre un dinamómetro de rodillo obteniendo una potencia máxima de 35,35 HP, es decir un 15% de potencia adicional, en cuanto al torque se obtuvo un valor de 27,61 Nm, 13% superior al valor de la ficha técnica.
- Se realizó pruebas de consumo de combustible y se determinó que el motor

KTM 250 cc consumió un volumen de combustible de 0,8 ml en 5.58 km, para ser una motocicleta de competición, es un valor alto.

- Se realizó un análisis comparativo, de potencia y torque en función a la cantidad de combustible suministrado, medido con un sensor de oxígeno tipo wideband, en donde se pudo destacar que este motor trabaja en óptimas condiciones con una mezcla estequiométrica de 12.4.
- Se determinó que las ppm de NO se reducen, debido a que el motor está funcionando en mezcla rica.
- Al suministrar una cantidad alta de combustible los hidrocarburos se elevaron sustancialmente, obteniendo un valor de 212 ppm a 6500 rpm, que es un régimen de revoluciones en donde se obtuvo el máximo torque en las pruebas sobre el dinamómetro.

RECOMENDACIONES

- Implementar un sensor WIDE BAND de mejor calidad, ya que un sensor de mala calidad se avería cuando es sometido a diferentes tipos de combustibles, esto ayudaría a una entonación más precisa sin importar las condiciones del entorno, como puede ser temperatura de aire, humedad relativa, presión atmosférica, entre otros.
- Implementar un sensor de tipo Knock, para poder apreciar de mejor manera el fenómeno knocking, el cual es dañino para los motores, con esto se prevendría serias averías en motores de competición.
- Investigar sobre las correcciones barométricas, ya que un motor al ser controlado por una ECU programable, es propenso a fallas, en cuanto a la cantidad de combustible a suministrar, y el avance al encendido, pudiendo ocasionar graves daños en los motores en el peor de los casos, esto es de gran importancia para otra modalidad de competencias como es el rally, Dakar, entre otras modalidades.
- Durante el proceso de sincronización del PMS con el disparo de la bobina de encendido, tomar en cuenta que los dientes de la rueda fónica se cuentan en sentido antihorario, y después del sensor CKP.
- Al momento de realizar las pruebas sobre el dinamómetro, tomar todas las medidas de seguridad necesarias, para evitar accidentes.
- Tener precaución con la manipulación de la batería, debido a que en su interior contiene ácido, esto puede provocar daños en la salud, del usuario quien la manipule.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alangasi , E., & Utreras, C. (agosto de 2014). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 20 de
 Noviembre de 2018, de
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8847/1/T-ESPEL-MAI-0478.pdf>
- ANLYSTICS, E. (09 de 11 de 2018). *EFL*. Obtenido de
<http://www.tunerstudio.com/index.php/downloads>
- Banish. (2007). *Enigne Management advance tuning*. China: CarTech.
- Banish. (2009). *Desingning and Tuning High Performance Fuel Inyection System*.
 Estados unidos: CarTech.
- Banish, G. (2007). *Engine management advance tuning*. China: CarTech.
- Basshuysen, V., & Schaefer, F. (2004). *Internal Combustion Engine Reference Book:
 Basic, Components, Systems, and Perspectives* . Quito: SAE international.
- Borja, R. (diciembre de 2007). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 12 de Octubre de
 2018, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4243/1/T-ESPEL-0256.pdf>
- Bosch. (06 de marzo de 2018). *BOSCH INVENTED FOR LIFE*. Obtenido de
<https://www.boschautoparts.com/en/auto/air-management-sensors/mass-airflow-sensors>
- Bosch. (6 de 11 de 2018). *bosch-ibusiness.com*. Obtenido de
<https://www.mecs.nl/system/files/sensors-2-1.pdf?fbclid=IwAR1RtHvT8vOUmh47pqyemZEMhiLzRMR3bKGIKBaRBInphoSZeJldN8HZPGI>
- Brain Bee. (12 de Enero de 2019). Recuperado el 30 de Enero de 2019, de

http://www.brainbee.it/oem.php?lang=en_US

Calderón, J. V., & Caluguillin, L. A. (6 de Marzo de 2018). *repositorio ESPOCH*.

Obtenido de

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1334/3/65T00024.pdf>

Cengel, Y., & Boles, M. (2018). *Termodinámica*. Quito: Mc Graw Hill.

Cerda, P. (31 de 08 de 2011). *Slide*. Obtenido de

https://es.slideshare.net/Luis_Reveco/inyectores-9084573

CISE. (06 de marzo de 2018). sensor MAF. Quito, Pichincha, Ecuador.

Crolla, D. (2009). *Automotive Engineering - Power Train, Chasis System and Vehicle Body*. Estados Unidos: Elsevier.

Crouse, W. (2001). transformacion de movimiento alternativo a movimiento rotacional.

En W. Crouse, *MOTORES DEL AUTOMOVIL* (pág. 39). Latacunga: alfaomega.

DimSport. (12 de 03 de 2018). *DimSport*. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de

<http://www.dimsport.it/pt/dyno/bike/>

Dynamometer. (6 de 12 de 2018). Obtenido de

<https://www.dynomitedynamometer.com/chassis-dyno/chassis-dyno.htm>

Echeverría, A. S. (diciembre de 2014). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 17 de

Febrero de 2018, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9266/2/T-ESPEL-MAI-0494-P.pdf>

Electromotive. (16 de 10 de 2015). *Electromotive*. Recuperado el 3 de Enero de 2019,

de https://electromotive.com/wp-content/uploads/2015/05/TEC3-Manual-01_7.pdf

Fernández, S. (10 de Enero de 2018). *PIRATAMOTOR*. Obtenido de

<http://www.piratamotor.com/manuales-y-articulos/articulos-de->

mecanica/eficiencia-volumetrica

Foundation Moto Engineering [MEF]. (2016). *Motostudent*. Recuperado el 5 de Febrero de 2018, de <http://www.motostudent.com/>

Gismero, A. (12 de Febrero de 2017). Recuperado el 5 de enero de 2019, de http://oa.upm.es/45307/1/TFG_ALEJANDRO_GISMERO_GALIATSATOS.pdf

Globaltech. (8 de 11 de 2018). *Globaltech*. Recuperado el 1 de Enero de 2019, de <http://www.globaltech-car.com/detalle.php?idlin=13&idprd=79>

González, D. (2015). *Motores termicos y sus sistemas auxiliares*. Quito: Parainfo.

Gray. (2014). *PCS Performance*. Obtenido de http://www.pcsperformance.com/Dyno_Service.html

Haltech. (7 de marzo de 2018). *Haltech*. Obtenido de <http://forums.haltech.com/viewtopic.php?f=23&t=9469>

Hamm, G., & Burk, G. (2018). *tablas de la tecnica del automovil*. Latacunga: REVERTE.

hardwareEFI. (6 de marzo de 2018). *HardwareEFI*. Recuperado el 19 de junio de 2018, de <https://www.efihardware.com/products/2502/TPS-Kit-Including-Bosch-TPS>

Hartman. (2018). *How to tuned modify automotive engine management systems*. USA: Motorbooks.

INACAP. (10 de 12 de 2018). Obtenido de <http://app.emaze.com/1195524/inyectorespplx#5>

Kruse, & Kurz. (14 de diciembre de 2010). *Moder Statistical Modelling and Evolutionary Optimization Methods for the Broad Use in ECU Calibration*. Munich, Germany.

KTM. (15 de marzo de 2018). Obtenido de <https://www.ktm.com/es-int/supersport/rc->

200/

Laica, W. (6 de Marzo de 2018). *repositorio ESPOCH*. Recuperado el 2 de Agosto de 2018, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3867/1/65T00033.pdf>

Loor, E., & Mendez, G. (2015). Motocicleta deportiva. En E. Loor, & G. Mendez, *Diseño y fabricacion de un sistema de encendido de alto rendimiento, con adelanto programable de avance de encendido de chispa de un motor sherco 250I-R para un prototipo de motocicleta de carreras para la competencia MOTOSTUDENT 2013-2014* (pág. 7). Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.

Lopez, R., & Lozada, J. (10 de Agosto de 2017). *Repositorio ESPE*. Recuperado el 17 de Febrero de 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13428>

MEF. (1 de abril de 2017). *Motostudent*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2017, de <http://www.motostudent.com/>

MEGASQUIRT. (19 de enero de 2016). *MEGASQUIRT*. Recuperado el 9 de Abril de 2018, de http://www.msextra.com/doc/pdf/Microsquirt_Hardware-3.3.pdf

Nakamura, Sawada, & Hashimoto. (2003). *Fuel INjection System For Small Motocycles*. Quito: SAE Technical PAPER.

Ocaña, A. (2003). Funcionamiento (motor de explosion). En A. Ocaña, *Tratado del automovil* (pág. 54). Latacunga: DOSSAT 2000.

RADEC. (7 de 11 de 2018). *RADEC*. Obtenido de <http://www.radec.com.mx/producto/218-2318-00>

Seat. (29 de abril de 2011). *renault*. Obtenido de

<http://foroclub.es/renault/viewtopic.php?t=9534>

Siemens. (2013 de septiembre de 2015). *AutoDaewooSpark*. Obtenido de <http://www.autodaewoospark.com/principio-funcionamiento-sistema-inyeccion-electronico-chery.php>

St, J. (24 de 10 de 2011). Obtenido de <https://8000vueltas.com/2011/10/24/carrera-hasta-los-100>

SW chips Perfomance. (11 de 12 de 2018). *Sw chips*. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <https://www.911chips.com/ignition.htm>

TAAET. (8 de noviembre de 2018). *TAAET ELECTRONICS*. Obtenido de <http://www.taaet.com/multimetros/78-multimetro-automotriz-trisco-da-830.html>

Tinizaray, D. (4 de enero de 2016). *repositorio ESPEL*. Recuperado el 22 de Febrero de 2018, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12102>

Buitrón, Narváez. (18 de septiembre de 2018). *repositorio ESPEL*. Recuperado el 12 de diciembre del 2018.

Tonato, D, Pumarica B. (10 de diciembre del 2018). *Repositorio ESPEL*. Recuperado el 23 de diciembre del 2018.

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor: **Veloz :
Dominguez Jefferson Wladimir.**


En la ciudad de Latacunga a los 25 días del mes de enero del 2019.



Ing. Germán Erazo
DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA CARRERA



Dr. Darwin Alban
SECRETARIO ACADÉMICO

Aprobado por:

