



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## **Análisis de la autonomía del prototipo del vehículo táctico militar**

Guasumba Amagua, Edison Patricio y Martínez Murillo, Jefferson Fabricio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero

Automotriz

Msc. Cevallos Carvajal, Alex Santiago

29 de febrero de 2024

Latacunga



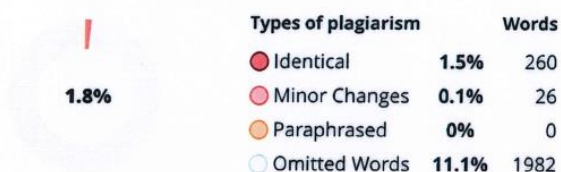
## Plagiarism and AI Content Detection Report

### Análisis de la autonomía del prototip...

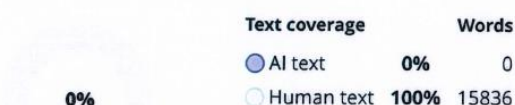
#### Scan details

Scan time: February 26th, 2024 at 20:5 UTC      Total Pages: 72      Total Words: 17818

#### Plagiarism Detection



#### AI Content Detection



[Learn more](#)

#### 🔍 Plagiarism Results: (24)

🌐 **FormatosTrabajosdeIntegracionCurricular2022.docx** 0.9%

<https://biblioteca.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2022/04/formatostrabajosdeintegracioncurricular2022.do...>

Calderon Garcia Angel David

[image: ] Nota: Colocar únicamente la página que indica el porcentaje de similitud de la herramienta contratada por la Universidad. Fir...

🌐 **FormatosDocumentosTrabajodeIntegracionCurricular.docx** 0.7%

<https://biblioteca.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2022/01/formatosdocumentostrabajodeintegracioncurric...>

Yamberla

[image: ] DEPARTAMENTO DE... CARRERA DE... CERTIFICACIÓN Certifico que el trabajo de integración curricular, "Título" fue realizado p...

🌐 **Formatosdocumentospre-grado2020.docx** 0.7%

<https://petroquimica-el.espe.edu.ec/wp-content/uploads/2020/06/formatosdocumentospre-grado2020.docx>

Yamberla

[image: ] DEPARTAMENTO DE... CARRERA DE... CERTIFICACIÓN Certifico que el trabajo de titulación, "Título" fue realizado por el/los se...

🌐 **Pillajo Bolagay, Carlos Andrés. Vicerrectorado de Investigación, Innovaci...** 0.7%

<https://docplayer.es/228511654-pillajo-bolagay-carlos-andres-vicevicerrectorado-de-investigacion-innovacion-y-tr...>

Iniciar la sesión ...

  
 Ing. Alex Santiago Cevallos Carbajal  
 C.C.: 0502530447



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Certificación**

Certificó que el trabajo de unidad de integración curricular **“Análisis de la autonomía del prototipo del vehículo táctico militar”** fue realizado por los señores **Guasumba Amagua, Edison Patricio y Martínez Murillo, Jefferson Fabricio**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas de ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Latacunga, 29 de febrero de 2024**

  
.....  
**Msc. Cevallos Carvajal, Alex Santiago**  
C.C: 0502530447



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Guasumba Amagua, Edison Patricio y Martínez Murillo, Jefferson Fabricio**, con cédula de ciudadanía No **1723611438** y **0550124333** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **“Análisis de la autonomía del prototipo del vehículo táctico militar”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas

**Latacunga, 29 de febrero de 2024**

.....  
**Guasumba Amagua, Edison Patricio**

C.C: 1723611438

.....  
**Martínez Murillo, Jefferson Fabricio**

C.C: 0550124333





**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Nosotros, **Guasumba Amagua, Edison Patricio y Martínez Murillo, Jefferson Fabricio**, con cédula de ciudadanía No **1723611438** y **0550124333** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Título: “Análisis de la autonomía del prototipo del vehículo táctico militar”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 29 de febrero de 2024**

.....  
**Guasumba Amagua, Edison Patricio**

C.C: 1723611438

.....  
**Martínez Murillo, Jefferson Fabricio**

C.C: 0550124333

### **Dedicatoria**

Dedico el presente trabajo a mi familia, a mis padres y hermano que me apoyaron en todo sentido, por todos aquellos momentos en que no pude estar con ellos, por aquellas situaciones que tuvieron que sobresalir sin mi ayuda, por y para ellos es este trabajo porque son mi mayor motivación para seguir adelante.

De la misma forma ofrezco este trabajo al resto de mi familia que siempre estuvieron pendiente y me ofrecieron ayuda cuando lo necesité y por el apoyo constante que recibí de su parte.

Por último, a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me brindaron su ayuda y contribuyeron en mi formación.

**EDISON PATRICIO GUASUMBA AMAGUA**

### **Agradecimiento**

Mi total agradecimiento a mi familia que siempre están a mi lado y siempre dispuestos a apoyarme en cualquier situación, por su ayuda recibida a lo largo de este proceso, este trabajo les pertenece.

Agradezco a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz, por su guía y enseñanzas impartidas en las aulas y laboratorios de la Universidad.

A nuestro tutor de tesis Ing. Alex Cevallos por su ayuda y constante predisposición a nuestras interrogantes, por su guía para la culminación de este trabajo y etapa de formación le agradezco mucho.

Al ingeniero José Quiroz que más que un docente es un amigo, que siempre nos ayudó a lo largo de nuestra etapa universitaria, y de forma especial en el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Marco Vinicio Quinga por su apoyo y ayuda que me brindo durante una etapa difícil de la universidad, un fuerte agradecimiento.

**EDISON PATRICIO GUASUMBA AMAGUA**

### **Dedicatoria**

Este trabajo de titulación lo dedico a mis padres quienes fueron el motor y autores principales en mi formación además de ser la fuente principal de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de esta etapa académica, a mis hermanos y familiares por todo el apoyo mostrado durante el proceso.

**MARTÍNEZ MURILLO JEFFERSON FABRICIO**



## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por cada uno de mis logros personales y académicos durante mi vida, a los compañeros ya amigos que he conocido y he compartido momentos durante mi formación.

Este proyecto de titulación ha sido un reto más en la etapa de mi vida. Amor recibido, dedicación y paciencia de mi familia en el desarrollo de mi formación académica es simplemente el regalo de riqueza que refleja en la vida de un hijo.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a los docentes que conforman esta prestigiosa institución que han impartido sus conocimientos durante mi formación académica.

Además, a las empresas privadas que me acogieron durante mi proceso de formación impartiendo su conocimiento que ha sido fundamental durante el proceso.

A nuestro tutor de proyecto de titulación, el Ingeniero Alex Cevallos por su apoyo y paciencia durante el proceso de culminación de esta etapa de mi vida que me permitió alcanzar los objetivos planteados en este trabajo.

Finalmente doy gracias a todas las personas que creyeron en mis capacidades y habilidades por lograr una meta más.

**MARTÍNEZ MURILLO JEFFERSON FABRICIO**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Carátula.....</b>                                                 | <b>1</b>  |
| <b>Reporte de verificación de contenidos .....</b>                   | <b>2</b>  |
| <b>Certificación .....</b>                                           | <b>3</b>  |
| <b>Responsabilidad de autoría.....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>Autorización de publicación.....</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>Dedicatoria.....</b>                                              | <b>6</b>  |
| <b>Agradecimiento.....</b>                                           | <b>7</b>  |
| <b>Dedicatoria.....</b>                                              | <b>8</b>  |
| <b>Agradecimiento.....</b>                                           | <b>9</b>  |
| <b>Índice de contenidos .....</b>                                    | <b>10</b> |
| <b>Índice de tablas .....</b>                                        | <b>15</b> |
| <b>Índice de figuras .....</b>                                       | <b>16</b> |
| <b>Resumen .....</b>                                                 | <b>20</b> |
| <b>Abstract.....</b>                                                 | <b>21</b> |
| <b>Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación .....</b> | <b>22</b> |
| <b>Antecedentes.....</b>                                             | <b>22</b> |
| <b>Planteamiento del problema .....</b>                              | <b>23</b> |
| <b>Descripción del proyecto .....</b>                                | <b>23</b> |
| <b>Justificación, importancia y alcance .....</b>                    | <b>24</b> |
| <b>Objetivos .....</b>                                               | <b>25</b> |
| <b><i>Objetivo General.....</i></b>                                  | <b>25</b> |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Objetivos específicos</i> .....                                   | 25 |
| Hipótesis .....                                                      | 25 |
| VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....                                      | 25 |
| <i>Variable dependiente</i> .....                                    | 26 |
| <i>Variable independiente</i> .....                                  | 26 |
| Capítulo II: Fundamentación Teórica .....                            | 27 |
| Introducción.....                                                    | 27 |
| Motor de encendido provocado (MEP).....                              | 27 |
| <i>Partes principales del motor</i> .....                            | 27 |
| <i>Funcionamiento</i> .....                                          | 28 |
| Características del motor .....                                      | 30 |
| <i>Par motor</i> .....                                               | 30 |
| <i>Potencia efectiva</i> .....                                       | 30 |
| <i>Potencia mecánica</i> .....                                       | 31 |
| <i>Consumo específico</i> .....                                      | 31 |
| <i>Representación gráfica de las características del motor</i> ..... | 31 |
| Obtención de las prestaciones del motor .....                        | 33 |
| Sistemas de alimentación .....                                       | 34 |
| <i>Sistema de carburador</i> .....                                   | 34 |
| <i>Sistemas de inyección</i> .....                                   | 35 |
| <i>Sensores básicos en el sistema de inyección</i> .....             | 37 |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| Sensor de temperatura del refrigerante .....                | 37        |
| Sensor de temperatura del aire en la admisión .....         | 38        |
| Sensor de posición del estrangulador .....                  | 39        |
| Sensor de presión absoluta en el colector .....             | 39        |
| Sensor de revoluciones del motor .....                      | 40        |
| <i>Actuadores elementales del sistema de inyección.....</i> | <i>41</i> |
| Depósito de combustible .....                               | 42        |
| Bomba de combustible .....                                  | 42        |
| Filtro de combustible .....                                 | 42        |
| Tubo distribuidor o riel de inyectores.....                 | 42        |
| Regulador de presión .....                                  | 42        |
| Válvula de inyección o inyector .....                       | 42        |
| Parámetros de funcionamiento .....                          | 42        |
| <i>Mezcla estequiométrica.....</i>                          | <i>42</i> |
| <i>Carga del motor.....</i>                                 | <i>43</i> |
| <i>Temperatura de funcionamiento .....</i>                  | <i>43</i> |
| <i>Condiciones de funcionamiento.....</i>                   | <i>44</i> |
| Capítulo III: Desarrollo de la propuesta .....              | 45        |
| Introducción.....                                           | 45        |
| Condiciones iniciales del vehículo .....                    | 45        |
| Método de estimación de consumo.....                        | 46        |

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Selección de rutas .....</b>                                                      | <b>48</b> |
| <b>Pruebas realizadas previo a la optimización del sistema de alimentación. ....</b> | <b>50</b> |
| <i>Pruebas de ruta .....</i>                                                         | <i>50</i> |
| <i>Prueba en banco dinamométrico .....</i>                                           | <i>56</i> |
| <i>Curva de consumo específico .....</i>                                             | <i>58</i> |
| <b>Optimización del sistema de alimentación .....</b>                                | <b>60</b> |
| <i>Computadora programable .....</i>                                                 | <i>61</i> |
| <i>Cuerpos de aceleración independientes (ITB).....</i>                              | <i>62</i> |
| <i>Múltiple de admisión.....</i>                                                     | <i>62</i> |
| <i>Sensor CKP y rueda fónica .....</i>                                               | <i>63</i> |
| <i>Sensor CLT.....</i>                                                               | <i>63</i> |
| <i>Sensor IAT.....</i>                                                               | <i>64</i> |
| <i>Bobinas tipo COP.....</i>                                                         | <i>65</i> |
| <i>Regulador de presión del riel de combustible.....</i>                             | <i>65</i> |
| <i>Bomba de combustible.....</i>                                                     | <i>66</i> |
| <i>Conexiones .....</i>                                                              | <i>67</i> |
| <i>Programación de la ECU .....</i>                                                  | <i>68</i> |
| <b>Desarrollo de pruebas con el sistema de alimentación optimizado.....</b>          | <b>92</b> |
| <i>Pruebas de ruta con el sistema de alimentación de inyección electrónica.....</i>  | <i>92</i> |
| <i>Prueba en banco dinamométrico con el sistema de admisión optimizado .....</i>     | <i>97</i> |
| <i>Curva de consumo específico .....</i>                                             | <i>99</i> |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Capítulo IV: Análisis e interpretación de resultados.....</b> | <b>101</b> |
| <b>Sistema de alimentación de carburador .....</b>               | <b>101</b> |
| <b>Sistema de alimentación con inyección electrónica .....</b>   | <b>102</b> |
| <b>Comparación de resultados.....</b>                            | <b>102</b> |
| <i><b>Potencia.....</b></i>                                      | <b>102</b> |
| <i><b>Par .....</b></i>                                          | <b>103</b> |
| <i><b>Consumo específico .....</b></i>                           | <b>103</b> |
| <i><b>Rendimiento.....</b></i>                                   | <b>104</b> |
| <i><b>Autonomía .....</b></i>                                    | <b>104</b> |
| <i><b>Costos.....</b></i>                                        | <b>106</b> |
| <b>Capítulo V: Marco administrativo .....</b>                    | <b>107</b> |
| <b>Financiamiento .....</b>                                      | <b>107</b> |
| <b>Recursos humanos.....</b>                                     | <b>107</b> |
| <b>Recursos materiales .....</b>                                 | <b>107</b> |
| <b>Recursos económicos.....</b>                                  | <b>108</b> |
| <b>Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.....</b>          | <b>110</b> |
| <b>Conclusiones.....</b>                                         | <b>110</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b>                                     | <b>111</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>                                        | <b>112</b> |
| <b>Anexos .....</b>                                              | <b>113</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 1</b> <i>Especificaciones Motor 4ZD1</i> .....                                             | 46  |
| <b>Tabla 2</b> <i>Consideraciones previas a cada prueba</i> .....                                   | 51  |
| <b>Tabla 3</b> <i>Datos obtenidos en Ruta 1</i> .....                                               | 51  |
| <b>Tabla 4</b> <i>Rendimiento de combustible Ruta 1</i> .....                                       | 52  |
| <b>Tabla 5</b> <i>Datos obtenidos en ruta 2</i> .....                                               | 53  |
| <b>Tabla 6</b> <i>Rendimiento de combustible ruta 2</i> .....                                       | 54  |
| <b>Tabla 7</b> <i>Datos obtenidos ruta 3</i> .....                                                  | 55  |
| <b>Tabla 8</b> <i>Rendimiento de combustible ruta 3</i> .....                                       | 55  |
| <b>Tabla 9</b> <i>Rendimiento promedio previo a la optimización del sistema</i> .....               | 56  |
| <b>Tabla 10</b> <i>Resultado del banco dinamométrico</i> .....                                      | 57  |
| <b>Tabla 11</b> <i>Densidad de gasolina extra en el Ecuador</i> .....                               | 59  |
| <b>Tabla 12</b> <i>Consumo específico para distintas revoluciones del motor</i> .....               | 59  |
| <b>Tabla 13</b> <i>Parámetros de los manómetros</i> .....                                           | 70  |
| <b>Tabla 14</b> <i>Resultados en ruta 1 con sistema de alimentación de inyección</i> .....          | 92  |
| <b>Tabla 15</b> <i>Consumo en ruta 1 con sistema de alimentación de inyección</i> .....             | 93  |
| <b>Tabla 16</b> <i>Resultados en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección</i> .....          | 94  |
| <b>Tabla 17</b> <i>Consumo en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección</i> .....             | 94  |
| <b>Tabla 18</b> <i>Resultados en ruta 3 con sistema de alimentación de inyección</i> .....          | 95  |
| <b>Tabla 19</b> <i>Consumo en ruta 3 con sistema de alimentación de inyección</i> .....             | 96  |
| <b>Tabla 20</b> <i>Rendimiento promedio con el sistema de alimentación de inyección</i> .....       | 97  |
| <b>Tabla 21</b> <i>Resultados del dinamómetro con el sistema de admisión optimizado</i> .....       | 98  |
| <b>Tabla 22</b> <i>Consumo específico para distintas revoluciones del motor con inyección</i> ..... | 99  |
| <b>Tabla 23</b> <i>Recurso humanos</i> .....                                                        | 107 |
| <b>Tabla 24</b> <i>Equipos y herramientas en el proyecto</i> .....                                  | 107 |
| <b>Tabla 25</b> <i>Recursos económicos para la optimización del sistema de admisión</i> .....       | 108 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |                                                                   |    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b>  | <i>Partes de un motor de encendido provocado.....</i>             | 28 |
| <b>Figura 2</b>  | <i>Desplazamiento del pistón .....</i>                            | 28 |
| <b>Figura 3</b>  | <i>Ciclos de trabajo de un motor de encendido provocado .....</i> | 30 |
| <b>Figura 4</b>  | <i>Curvas características del motor.....</i>                      | 32 |
| <b>Figura 5</b>  | <i>El carburador .....</i>                                        | 34 |
| <b>Figura 6.</b> | <i>Sistema según la zona de inyección.....</i>                    | 35 |
| <b>Figura 7</b>  | <i>Clasificación según el número de inyectores.....</i>           | 36 |
| <b>Figura 8</b>  | <i>Inyección según su funcionamiento.....</i>                     | 37 |
| <b>Figura 9</b>  | <i>Sensor de temperatura del refrigerante.....</i>                | 38 |
| <b>Figura 10</b> | <i>Sensor de temperatura en la admisión.....</i>                  | 38 |
| <b>Figura 11</b> | <i>Sensor TPS .....</i>                                           | 39 |
| <b>Figura 12</b> | <i>Sensor de presión absoluta MAP.....</i>                        | 40 |
| <b>Figura 13</b> | <i>Sensor CKP.....</i>                                            | 41 |
| <b>Figura 14</b> | <i>Actuadores elementales del sistema de inyección.....</i>       | 41 |
| <b>Figura 15</b> | <i>Prototipo Vehículo Táctico Militar.....</i>                    | 45 |
| <b>Figura 16</b> | <i>Motor 4ZD1.....</i>                                            | 46 |
| <b>Figura 17</b> | <i>Depósito de combustible .....</i>                              | 47 |
| <b>Figura 18</b> | <i>Adaptación de conexiones de alimentación .....</i>             | 47 |
| <b>Figura 19</b> | <i>Aplicaciones utilizadas para la obtención de datos .....</i>   | 48 |
| <b>Figura 20</b> | <i>Rutas seleccionadas .....</i>                                  | 49 |
| <b>Figura 21</b> | <i>Vía de primer orden.....</i>                                   | 49 |
| <b>Figura 22</b> | <i>Vía de segundo orden .....</i>                                 | 50 |
| <b>Figura 23</b> | <i>Vía de tercer orden.....</i>                                   | 50 |
| <b>Figura 24</b> | <i>Rendimiento de combustible Ruta 1 .....</i>                    | 53 |
| <b>Figura 25</b> | <i>Rendimiento de combustible ruta 2.....</i>                     | 54 |

|                  |                                                                                  |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 26</b> | <i>Rendimiento de combustible ruta 3.....</i>                                    | 55 |
| <b>Figura 27</b> | <i>Rendimiento previo a la optimización del sistema de alimentación .....</i>    | 56 |
| <b>Figura 28</b> | <i>Curvas características obtenidas en el dinamómetro.....</i>                   | 57 |
| <b>Figura 29</b> | <i>Medición de tiempo de consumo de 0,1L de combustible .....</i>                | 58 |
| <b>Figura 30</b> | <i>Consumo específico y par previo a la optimización .....</i>                   | 60 |
| <b>Figura 31</b> | <i>Desmontaje de componentes .....</i>                                           | 60 |
| <b>Figura 32</b> | <i>Computadora programable SP Tronics MX3 Pro .....</i>                          | 61 |
| <b>Figura 33</b> | <i>Cuerpos de aceleración independientes ITBs.....</i>                           | 62 |
| <b>Figura 34</b> | <i>Múltiple de admisión.....</i>                                                 | 63 |
| <b>Figura 35</b> | <i>Sensor CKP y rueda fónica.....</i>                                            | 63 |
| <b>Figura 36</b> | <i>Soporte del sensor CLT .....</i>                                              | 64 |
| <b>Figura 37</b> | <i>Sensor IAT.....</i>                                                           | 64 |
| <b>Figura 38</b> | <i>Boninas de encendido COP.....</i>                                             | 65 |
| <b>Figura 39</b> | <i>Regulador de presión de combustible .....</i>                                 | 66 |
| <b>Figura 40</b> | <i>Bomba de combustible externa.....</i>                                         | 66 |
| <b>Figura 41</b> | <i>Socket de conexión de la computadora.....</i>                                 | 67 |
| <b>Figura 42</b> | <i>Cableado del motor.....</i>                                                   | 67 |
| <b>Figura 43</b> | <i>Ensamble final del sistema de alimentación con inyección electrónica.....</i> | 68 |
| <b>Figura 44</b> | <i>Creación de nuevo proyecto .....</i>                                          | 69 |
| <b>Figura 45</b> | <i>Selección unidad de trabajo de la temperatura .....</i>                       | 69 |
| <b>Figura 46</b> | <i>Selección de Manómetros.....</i>                                              | 70 |
| <b>Figura 47</b> | <i>Desbloqueo de Calibraciones .....</i>                                         | 71 |
| <b>Figura 48</b> | <i>Calibración del sensor de temperatura del refrigerante CLT .....</i>          | 72 |
| <b>Figura 49</b> | <i>Calibración del sensor TPS.....</i>                                           | 72 |
| <b>Figura 50</b> | <i>Menú de configuración Basic/Load Settings.....</i>                            | 73 |
| <b>Figura 51</b> | <i>Cálculo del requerimiento del combustible .....</i>                           | 74 |

|                  |                                                                 |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 52</b> | <i>Configuración de motor y secuencia</i> .....                 | 75 |
| <b>Figura 53</b> | <i>Configuraciones generales</i> .....                          | 76 |
| <b>Figura 54</b> | <i>Configuración del sensor MAP</i> .....                       | 76 |
| <b>Figura 55</b> | <i>Parámetros de carga</i> .....                                | 77 |
| <b>Figura 56</b> | <i>Límite de Revoluciones del motor</i> .....                   | 78 |
| <b>Figura 57</b> | <i>Configuración de Switchs</i> .....                           | 78 |
| <b>Figura 58</b> | <i>Salida del Tacómetro</i> .....                               | 79 |
| <b>Figura 59</b> | <i>Control del electroventilador</i> .....                      | 80 |
| <b>Figura 60</b> | <i>Tiempo muerto del inyector</i> .....                         | 80 |
| <b>Figura 61</b> | <i>Opciones de ignición</i> .....                               | 81 |
| <b>Figura 62</b> | <i>Opciones de ignición</i> .....                               | 82 |
| <b>Figura 63</b> | <i>Sensor de rotación y tipo de bonina</i> .....                | 82 |
| <b>Figura 64</b> | <i>Configuración Rueda Fónica</i> .....                         | 83 |
| <b>Figura 65</b> | <i>Posición de sensor de posicionamiento del cigüeñal</i> ..... | 84 |
| <b>Figura 66</b> | <i>Avance en frío</i> .....                                     | 84 |
| <b>Figura 67</b> | <i>Arranque del motor</i> .....                                 | 85 |
| <b>Figura 68</b> | <i>Porcentaje de pulso al encendido</i> .....                   | 86 |
| <b>Figura 69</b> | <i>Tabla de combustible</i> .....                               | 86 |
| <b>Figura 70</b> | <i>Zonas de Trabajo</i> .....                                   | 87 |
| <b>Figura 71</b> | <i>Primera zona de trabajo</i> .....                            | 88 |
| <b>Figura 72</b> | <i>Segunda zona de trabajo</i> .....                            | 88 |
| <b>Figura 73</b> | <i>Zona de trabajo 3</i> .....                                  | 89 |
| <b>Figura 74</b> | <i>Zonas de Trabajo 4</i> .....                                 | 90 |
| <b>Figura 75</b> | <i>Zonas de Trabajo 5</i> .....                                 | 90 |
| <b>Figura 76</b> | <i>Zonas de Trabajo 6</i> .....                                 | 91 |
| <b>Figura 77</b> | <i>Zonas de Trabajo 8</i> .....                                 | 92 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 78</b> <i>Rendimiento en ruta 1 con sistema de alimentación de inyección .....</i>             | 93  |
| <b>Figura 79</b> <i>Rendimiento en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección .....</i>             | 95  |
| <b>Figura 80</b> <i>Rendimiento en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección .....</i>             | 96  |
| <b>Figura 81</b> <i>Rendimiento del motor con sistema de alimentación de inyección electrónica.....</i>  | 97  |
| <b>Figura 82</b> <i>Curvas características obtenidas en el dinamómetro después de la optimización ..</i> | 98  |
| <b>Figura 83</b> <i>Consumo específico y par con sistema de inyección electrónica .....</i>              | 100 |
| <b>Figura 84</b> <i>Potencia del sistema de carburador vs sistema de inyección.....</i>                  | 102 |
| <b>Figura 85</b> <i>Par del sistema de carburador vs sistema de inyección .....</i>                      | 103 |
| <b>Figura 86</b> <i>Consumo específico del sistema de carburador vs sistema de inyección.....</i>        | 103 |
| <b>Figura 87</b> <i>Rendimiento entre el sistema de carburador y el sistema de inyección .....</i>       | 104 |
| <b>Figura 88</b> <i>Comparación de la autonomía del vehículo militar táctico .....</i>                   | 105 |

## Resumen

Para el proyecto de “Análisis de la autonomía del prototipo del vehículo táctico militar”, se utilizó el vehículo construido sobre la plataforma del modelo Chevrolet Trooper modelo 1990, el vehículo posee el motor 4ZD1 de 4 cilindros de 2.3L, la alimentación original trabajaba con un sistema de carburador, con este sistema se determinó las prestaciones y rendimiento de combustible del vehículo, la forma en que se obtuvo estos datos fue mediante una prueba en un banco dinamométrico, para el caso del rendimiento de combustible se procedió a realizar pruebas de ruta en caminos de primer, segundo y tercer orden. Se procedió a optimizar el sistema de alimentación con el fin de disminuir el consumo de combustible y aumentar las prestaciones del motor. Se adaptó un sistema de inyección electrónica programable. El sistema que se implementó consta de un conjunto de cuerpos de aceleración independientes que incluye un riel de alimentación con su respectivo inyector, además sensores elementales para el funcionamiento de un sistema de inyección electrónica, Para el encendido se optó por un sistema tipo COP. Para la alimentación de combustible se instaló una bomba de alta presión de tipo externa, que nos facilite la alimentación desde un depósito externo graduado para comprobar el consumo de combustible en cada prueba de ruta. Una vez instalado y programado el sistema de inyección electrónica se procede a realizar pruebas en el banco dinamométrico con el fin de obtener los nuevos datos de prestaciones, Se realizan las pruebas de ruta para obtener el rendimiento de combustible con el nuevo sistema de alimentación. Una vez que se ha analizado los datos entregados en las pruebas y realizando una comparación entre el sistema anterior y el nuevo sistema optimizado, se determinó la reducción del consumo de combustible y el aumento de la autonomía del vehículo.

*Palabras clave:* Inyección programable, cuerpo de aceleración, autonomía vehicular, rendimiento específico de combustible.

### **Abstract**

For the project "Analysis of the autonomy of the prototype of the military tactical vehicle", the vehicle built on the platform of the 1990 Chevrolet Trooper model was used, the vehicle has the 4ZD1 engine of 4 cylinders of 2.3L, the original power supply worked with a carburetor system, with this system the performance and fuel efficiency of the vehicle was determined, the way in which these data were obtained was through a test on a dynamometric bench, for the case of fuel efficiency we proceeded to perform road tests on roads of first, second and third order. The fuel system was optimized to reduce fuel consumption and increase engine performance. A programmable electronic injection system was adapted. The system that was implemented consists of a set of independent throttle bodies that includes a feed rail with its respective injector, as well as elementary sensors for the operation of an electronic injection system, and a COP type system was chosen for the ignition. For the fuel supply, an external high-pressure pump was installed, which facilitates the supply from an external graduated tank to check the fuel consumption in each route test. Once the electronic injection system was installed and programmed, tests were carried out on the dynamometric bench in order to obtain the new performance data, and road tests were performed to obtain the fuel efficiency with the new fuel system. Once the data provided by the tests were analyzed and a comparison was made between the previous system and the new optimized system, the reduction in fuel consumption and the increase in the vehicle's autonomy were determined.

*Key words:* Programmable injection, throttle body, vehicle autonomy, specific fuel efficiency.

## Capítulo I

### Planteamiento del problema de investigación

#### Antecedentes

En las últimas dos décadas, ha habido cambios significativos en las prioridades del diseño de motores de automóviles. Inicialmente, el enfoque estaba en restablecer el caballaje máximo, alineándolo con los requisitos fundamentales de seguridad y durabilidad a largo plazo. Sin embargo, la atención cambió con la promulgación de leyes sobre la limpieza del aire que colocaron una prioridad absoluta en las medidas anticontaminantes.

La industria automotriz no ha sido inmune al avance tecnológico uno de ellos fue la inyección de combustible, particularmente en esta área, se ha estado trabajando con estos cambios, especialmente en vehículos equipados con sistemas de alimentación de carburador. Muchos ingenieros creen que la inyección de combustible será crucial para la eficiencia operativa sin renunciar a las mejoras que ya se han logrado en el control de emisiones.

A pesar de que los sistemas de inyección de combustible ya se implementaron hace un largo tiempo, su tecnología sigue en desarrollo, lo que ha permitido desplegar tecnologías más eficientes de tal manera que se puede aprovechar de mejor forma las propiedades del combustible y optimizar el rendimiento total.

En la actualidad tenemos vehículos que posee nuevas alternativas de propulsión como los vehículos híbridos y eléctricos, no obstante, los vehículos con sistemas de inyección aún circulan en las vías, es más podemos encontrarnos con un gran porcentaje de vehículos con sistemas a carburador que aún cumplen con los requerimientos de seguridad para circular, por otra parte, no se puede decir lo mismo en el aspecto de contaminación, desarrollo y consumo de combustible.

El prototipo de vehículo táctico militar posee un motor que en un principio funcionaba con un sistema de alimentación a carburador, lo que originaba que este tenga un alto consumo de combustible, por lo que es necesario realizar la incorporación de un sistema de inyección



multipunto con cuerpo de aceleración independiente ITB “Intake Throttle Body” para el sistema de alimentación, gestionado por una computadora programable, con la finalidad de aumentar su autonomía y potencia.

### **Planteamiento del problema**

El trabajo que se quiere abordar está centrado en la implementación de un sistema de inyección multipunto con cuerpo de aceleración independiente ITB “Intake Throttle Body” para el sistema de alimentación gestionado por una computadora programable SPTronic.

En la actualidad un problema común al que todos nos enfrentamos es el alto costo de los combustibles, a medida que pasa el tiempo nos encontramos con mayores dificultades políticas y medioambientales para obtenerlos y por lo tanto aumenta su precio, esto ocasionando que vehículos con sistemas de alimentación antiguos representen un gasto mayor en combustible. Por consiguiente, se plantea mejorar el desempeño de su fuente de energía por medio de un estudio, análisis e implementación de tecnologías que logren aumentar la autonomía de esta clase de vehículos.

El ensayo más apropiado para estudiar son las pruebas de ruta del vehículo que se implementó el sistema en tres tipos de ruta como carretera, semiurbano y caminos de tercer orden, ya que es por los caminos que circulara el vehículo.

### **Descripción del proyecto**

Este proyecto busca realizar un análisis de la autonomía e implementar un sistema de alimentación alternativo en el vehículo táctico militar, con el fin de disminuir el consumo de combustible y mejorar sus prestaciones. El punto de partida será recopilar información del tipo de motor y su sistema de alimentación, posterior a esto, se realizará un estudio del consumo de combustible por medio de pruebas en ruta, subsiguiente se realizará una prueba dinamométrica para conocer la potencia inicial del vehículo táctico militar.

Se implementará un sistema de inyección multipunto con cuerpo de aceleración independiente ITB “Intake Throttle Body” para el sistema de alimentación gestionado por una

computadora programable SPTronic que logre aumentar su autonomía y potencia, para esto se tomará en cuenta el diseño de los colectores de admisión, una mejor calidad y homogeneidad de la mezcla aire combustible, además un mejor control de calidad de la mezcla y cantidad de combustible.

Una vez implementado el nuevo sistema de alimentación se procederá a realizar una prueba dinamométrica para evidenciar la potencia obtenida, posterior a esto se realizará pruebas en ruta para obtener la autonomía del vehículo táctico militar. Para finalizar se realizará una comparación entre el sistema de alimentación antiguo y el implementado, tomando en cuenta temas como la tecnología utilizada, su variable operativa, su efecto y justificación.

### **Justificación, importancia y alcance**

El presente proyecto se centra en sustituir el sistema de alimentación de carburador por un sistema de inyección programable con cuerpos de aceleración independientes al vehículo táctico militar, debido a que los motores de combustión interna a lo largo de los años fueron evolucionando en sus sistemas, uno de ellos el sistema de alimentación, debido a su diseño inicial que hacía uso del carburador era necesario implementar el sistema de inyección electrónica mejorando sus prestaciones del motor como torque, potencia y autonomía de combustible.

Para obtener datos de consumo de combustible se debe desarrollar diferentes pruebas de ruta, así como también pruebas en el banco dinamométrico para determinar parámetros del vehículo como el torque, potencia y consumo específico. Finalmente analizar y comparar el comportamiento del vehículo una vez realizado la incorporación del nuevo sistema de alimentación de inyección programable para contribuir con información para futuras investigaciones.

Por lo tanto, la inyección programable nos permite un control minucioso de los parámetros de funcionamiento de la alimentación en base a medidas recibidos de los sensores

que recibe la computadora y en base a estos determina el funcionamiento del sistema de alimentación mejorando las prestaciones del motor.

El alcance de este proyecto se basa en comprobar el aumento de la autonomía del combustible, potencia y torque, al sustituir el carburador del sistema de alimentación original por un sistema de inyección programable. Y decidir si es una opción factible comparando sus ventajas y desventajas entre los dos sistemas.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Analizar el consumo de combustible del prototipo de vehículo táctico militar y la implementación un sistema de alimentación que mejore su autonomía.

### ***Objetivos específicos***

- Analizar en consumo de combustible del vehículo táctico con sistema de alimentación de carburador.
- Proponer otra fuente de sistema de alimentación para la propulsión del vehículo táctico.
- Implementar los componentes del sistema de alimentación a inyección en el flujo de aspiración del vehículo táctico.
- Analizar las prestaciones del vehículo táctico con la fuente de sistema de alimentación propuesta.

## **Hipótesis**

Al sustituir el sistema de alimentación de carburación del vehículo táctico por un sistema de inyección multipunto con cuerpo de aceleración independiente ITB "Intake Throttle Body" gestionado por una computadora programable, se logrará mejorar las prestaciones del vehículo tanto en autonomía, torque y potencia.

## **Variables de investigación**

***Variable dependiente***

Autonomía del vehículo, prestaciones del vehículo

***Variable independiente***

Sistema de alimentación, Sistema de encendido, Pruebas de ruta, Gestión Electrónica

## **Capítulo II**

### **Fundamentación Teórica**

#### **Introducción**

En este capítulo se muestra las bases teóricas resultantes de la investigación bibliográfica en donde se abordarán temas como el motor de encendido provocado, características del motor, obtención de las prestaciones del motor, sistemas de alimentación, parámetros de funcionamiento, todos los temas a relacionarse con la optimización del sistema de admisión del prototipo del vehículo táctico militar.

#### **Motor de encendido provocado (MEP)**

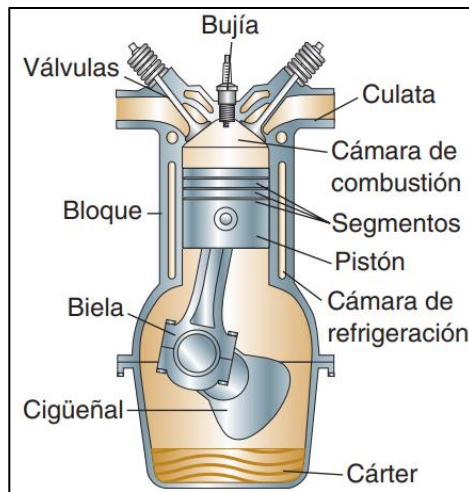
Este se encarga de obtener energía mecánica por medio de una reacción química entre el combustible y el aire del medio ambiente, se dice de encendido provocado porque necesita de un aporte de energía externo para realizar la combustión de la mezcla aire combustible, es decir que necesita de una chispa para provocar la inflamación de combustible con el aire. (Benajes & Navarro, 2011).

#### ***Partes principales del motor***

El motor se constituye de un pistón que se desplaza de forma alternativa dentro de un cilindro, el pistón transmite este movimiento a una biela la cual junto al cigüeñal transforma el movimiento alternativo en rotativo, intervienen más elementos como las válvulas de admisión y escape que permiten la entrada y salida del flujo de gases ya sea para inflamarse o resultantes de la combustión respectivamente, la bujía se encuentra ubicada de tal forma que pueda suministrar la chispa dentro de la cámara de combustión, y es en esta misma donde se realiza el proceso de inflamación y expansión de la mezcla. (Thiessen & Dales, 1996)

**Figura 1**

*Partes de un motor de encendido provocado*



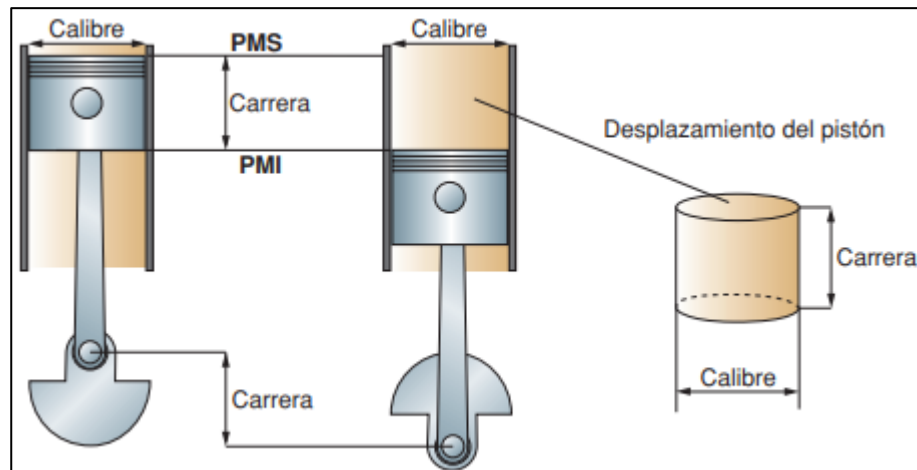
*Nota.* Partes más comunes de un MEP. Tomado de Motores por (Acebes, 2011)

### **Funcionamiento**

Cuando el pistón se encuentra en su punto más alto se dice que se encuentra en el punto muerto superior (PMS), por otra parte, cuando se encuentra en la parte inferior se lo denomina punto muerto inferior (PMI), el desplazamiento del PMS al PMI se denomina carrera.

**Figura 2**

*Desplazamiento del pistón*



*Nota.* Desplazamiento de un pistón del PMI al PMS. Tomado de Motores por (Acebes, 2011)

Para que el pistón pueda desplazarse, necesita de una fuerza dentro del cilindro, esta se logra gracias a la presión generada dentro del mismo por la combustión de la mezcla aire-combustible que ha sido inflamada por la chispa que salta en la bujía de encendido.

Para lograr este fenómeno es necesario especificar los cuatro tiempos de funcionamiento del motor, estos son:

- Admisión
- Compresión
- Explosión (combustión y expansión)
- Escape

Admisión. En esta etapa el pistón se encuentra moviéndose del PMS al PMI y la válvula de admisión se abre para permitir el ingreso de la mezcla aire-combustible, este proceso durará hasta que el pistón llegue al PMI.

Compresión. Aquí con las válvulas de admisión y escape cerradas el pistón se desplazará hacia el PMS comprimiendo la mezcla.

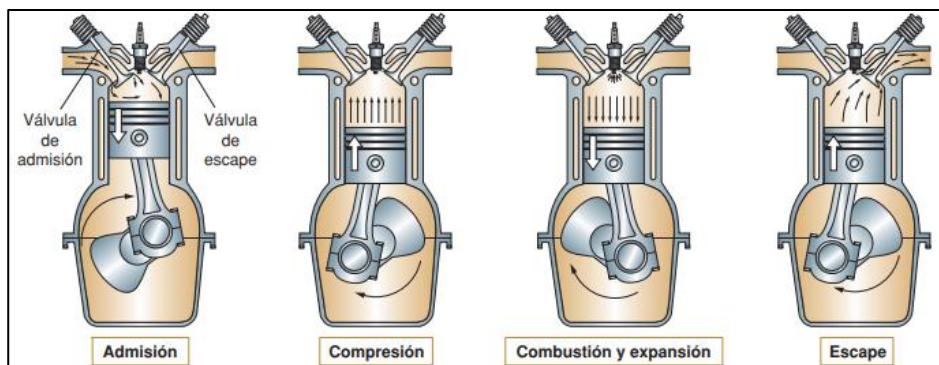
Explosión. Cuando la mezcla sea comprimida totalmente por el pistón al llegar al PMS, la bujía salta la chispa y esta inflama la mezcla provocando que se combustione y empiece a expandirse, esto genera una presión dentro del cilindro obligando al pistón a trasladarse hacia el PMI.

Escape. Una vez que el pistón llegue al PMI producto de la combustión este empieza a moverse al PMS, en este momento la válvula de escape se abre para dar paso a la expulsión de los gases contenidos en el cilindro producto de la explosión de la mezcla, y de esta forma dar paso a que se repita la admisión.



### Figura 3

#### *Ciclos de trabajo de un motor de encendido provocado*



*Nota.* Se muestra la ubicación de las válvulas de admisión y escape, además el funcionamiento de los ciclos de trabajo admisión, compresión, expansión y escape de un MPE. Tomado de Motores por (Acebes, 2011).

#### **Características del motor**

Para tener una idea del desempeño o de las prestaciones que posee un motor es necesario tener en cuenta sus características, dentro de estas se hallan el par motor, la potencia y el consumo. (Acebes, 2011).

#### ***Par motor***

También denominado torque, es la fuerza aplicada a cierta distancia de un eje de giro o pivote; para el caso del motor, es la fuerza que aplica la biela en el muñón del cigüeñal producto de la presión ejercida sobre el pistón, las unidades más utilizadas son Nm y lbft.

#### ***Potencia efectiva***

La potencia en si es cuan rápido se puede realizar un trabajo, en los motores se mide en caballos de fuerza (HP), esto hace referencia a una medida de la velocidad a la cual puede trabajar un caballo, puede parecer extraño, pero en el pasado no existía un método para comparar esta característica del motor, por lo que fue comprobado que un caballo promedio podía levantar 75kg a una altura de un metro en un segundo, en esta intervienen el par producido por el motor y las revoluciones a las que desarrolla dicho par. (Acebes, 2011).

### **Potencia mecánica**

La potencia mecánica hace referencia a la que aplica el extremo del cigüeñal, es la más común que muestran las empresas que comercializan automotores en las especificaciones de los vehículos.

Factores que determinan la potencia de un motor. Existen algunos puntos los cuales pueden definir la potencia que puede desarrollar un motor, entre estos tenemos:

- La cilindrada. Que no es más que el volumen total de todos los cilindros que constituyan el motor, entre más volumen pueda tener, más será la capacidad de ingresar la mezcla aire-combustible obteniendo mayor trabajo mecánico.
- **El llenado del cilindro.** Este factor se refiere a la rapidez en la cual los cilindros admitan más cantidad de la mezcla, esto da como resultado una mayor presión y par motor.
- **La relación de compresión.** A medida que esta aumente, la fuerza de la explosión también lo hace.
- **El régimen de giro.** Como ya se lo mencionó en la parte anterior, en la obtención de la potencia interviene velocidad del motor que son las revoluciones por minuto.

### **Consumo específico**

Este es el consumo de combustible a través del tiempo en relación a la potencia obtenida del motor, que se obtiene mediante pruebas en un banco dinamométrico, el consumo específico se expresa en  $(g/kW * h)$  o  $(g/HP * h)$ . (Lecuona & Rodríguez, 2011)

### **Representación gráfica de las características del motor**

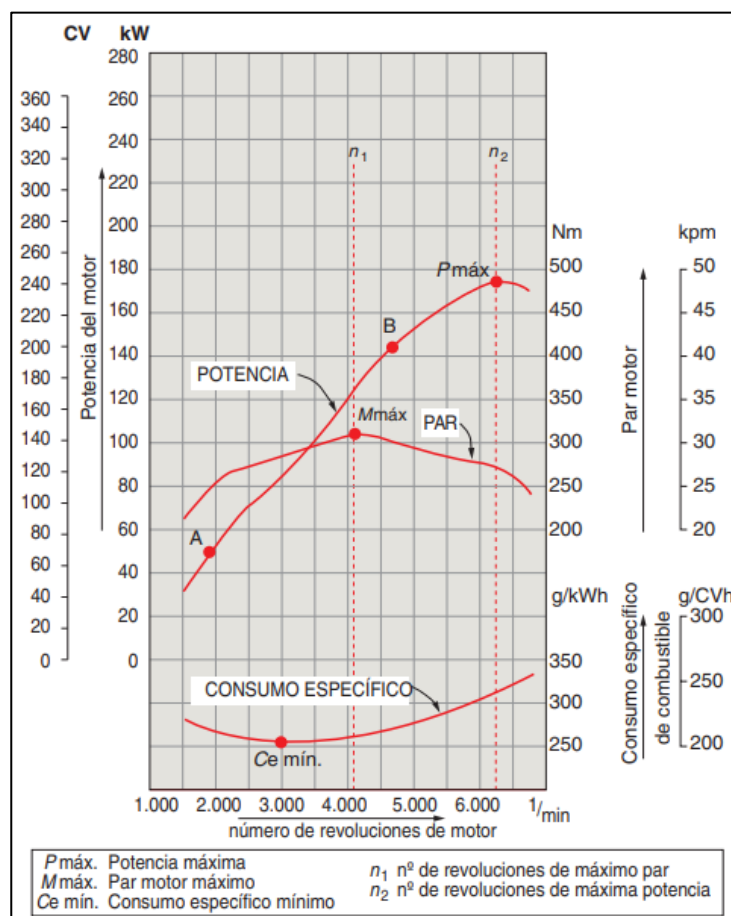
La mejor forma de visualizar las prestaciones del motor de un vehículo es por medio de graficas o curvas que relacionen el giro del motor con sus valores de potencia, par y consumo, de esta forma se podrá dar un criterio del desempeño y las capacidades del motor con base a sus valores máximos y en el momento en que los entregan.

Estas curvas están en función de las revoluciones del motor, razón por la cual se puede hacer una comparación visual del rango de revoluciones donde esté entregando su máxima potencia, torque y el régimen donde tenga su mínimo consumo de combustible.

En la siguiente figura analizando la curva de torque se puede evidenciar que el motor entrega su máximo valor de 310 Nm a 4100 rpm aproximadamente, la potencia máxima alcanzada de 250 CV o HP lo logra a 6300 rpm; por último, en la curva de consumo su valor más bajo de 200 g/CV h es entregado a 3000 rpm.

**Figura 4**

*Curvas características del motor*



*Nota.* Curvas características del motor donde se aprecia la entrega los respectivos valores de par, potencia y consumo en función de las revoluciones del motor. Tomado de Motores por (Acebes, 2011).

### Obtención de las prestaciones del motor

Para determinar las prestaciones del motor como el par y la potencia se emplea un banco dinamométrico o más comúnmente conocido como dinamómetro, estos pueden medir la potencia de los motores directamente de las ruedas motrices del vehículo, las ruedas se apoyan sobre rodillos giratorios, se arranca el motor se introduce la marcha para transmitir el giro de las ruedas a los rodillos, los rodillos están enlazados a un dínamo interno que determina la potencia que el motor es capaz de producir, cabe resaltar que para obtener la potencia del motor es necesario que la transmisión se encuentre conectada la marcha con la relación directa del motor, por lo general en vehículos comunes es cuarta marcha. (Crouse, 1983).

La potencia mecánica se puede obtener por medio de cálculos relacionando el par motor obtenido en el dinamómetro y las revoluciones del motor, la fórmula para obtener la potencia efectiva en HP es la siguiente.

$$P = \frac{M*n*0,1383}{716*1,0138} \quad (1)$$

Donde:

$P =$  Potencia (HP).

$M =$  Torque o par (lb ft)

$n =$  Revoluciones por minuto (rpm).

Así como se obtiene la potencia mediante cálculos también lo es con el consumo, esto se logra determinando en cuanto tiempo consume 0.1 l a las distintas revoluciones de funcionamiento del motor y la densidad del combustible empleado. (Acebes, 2011).

Para calcular el consumo específico se utiliza la expresión que relacione la masa del combustible, la densidad y el tiempo como se indica a continuación.

$$C_e = \frac{3,6*10^5*d}{P*t} \quad (2)$$

Donde.

$C_e =$  Consumo específico (g/HP h)

$d =$  Densidad del combustible ( $g/cm^3$ )

$P =$  Potencia (hp)

$t =$  Tiempo en consumir 0,1 l de combustible (seg)

### Sistemas de alimentación

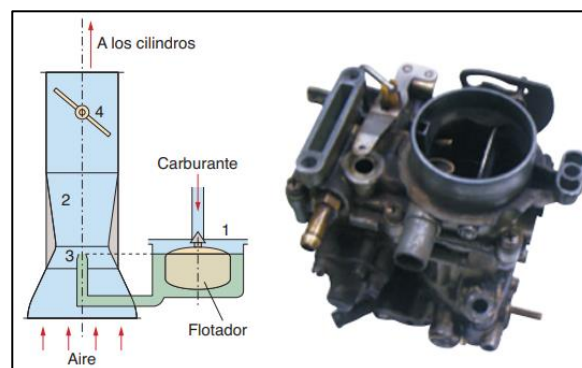
El sistema de alimentación se constituye de varios elementos los cuales tienen la finalidad de suministrar la mezcla de aire-combustible al cilindro a través de la válvula de admisión, en este sistema podemos encontrar los siguientes.

#### Sistema de carburador

El carburador se encarga de preparar la mezcla, aquí el combustible es arrastrado por el ingreso del aire, por lo tanto, la dosificación es resultado del caudal de entrada de aire al carburador, este debe surtir el combustible de forma homogénea y variar el suministro de acuerdo con las condiciones de funcionamiento del motor. (Pardiñas, 2011).

#### Figura 5

*El carburador*



*Nota.* Izquierda partes elementales del carburador, 1 cuba de nivel, 2 difusor, 3 surtidor, 4 estrangulador o mariposa. Derecha aspecto exterior del carburador. Tomado de Sistemas auxiliares del motor por (Pardiñas, 2011).

El flotador se encarga de mantener el nivel del combustible a la altura del surtidor, cuando el aire ingresa al carburador, en la sección del surtidor se produce una depresión lo que arrastra el combustible hacia el difusor y formar una mezcla homogénea entre aire y

combustible, en esta zona se encuentra el estrangulador que regulará el paso de esta mezcla hacia los cilindros del motor mediante la variación de su apertura por el accionamiento del acelerador.

### **Sistemas de inyección**

La principal diferencia de este sistema con el de carburador es que el suministro de combustible ya no es por el arrastre o depresión del aire que ingresa, si no que el combustible es pulverizado a tal grado que se forma una niebla a combinarse con el aire, dando como resultado una mezcla mucho más homogénea que resulta en la mejora de la calidad de combustión y eficiencia de esta.

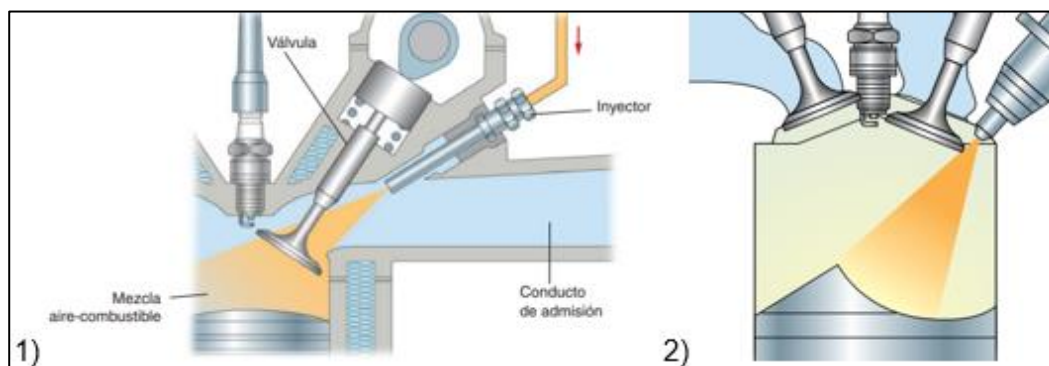
Además de lo mencionado en el párrafo anterior, en el sistema de inyección tenemos un mejor control del aporte de combustible bajo las diferentes condiciones de funcionamiento del motor, este sistema se clasifica de la siguiente manera.

Según la zona de inyección. Dependiendo del lugar dónde se realice la inyección, antes o después de la válvula de admisión podemos encontrar:

- Inyección directa. – La inyección se realiza en el cilindro.
- Inyección indirecta. – La inyección se realiza en los conductos de admisión.

### **Figura 6.**

*Sistema según la zona de inyección*



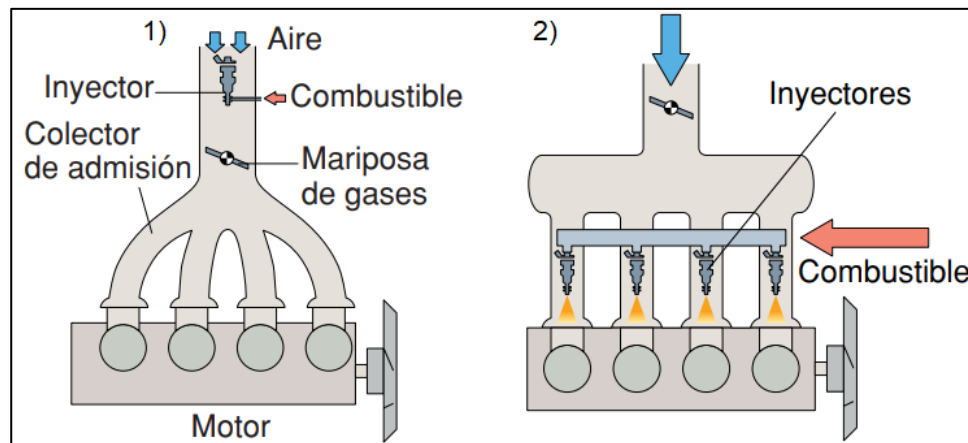
*Nota.* Figura 1 inyección indirecta, figura 2 inyección directa. Tomado de Motores por (Acebes, 2011).

Según el número de inyectores. Se agrupan de acuerdo con el número de inyectores que se utilice en el motor.

- Monopunto. – Un solo inyector realiza la dosificación para todos los cilindros.
- Multipunto. – Para cada cilindro existe un inyector que suministra el combustible.

### Figura 7

*Clasificación según el número de inyectores*



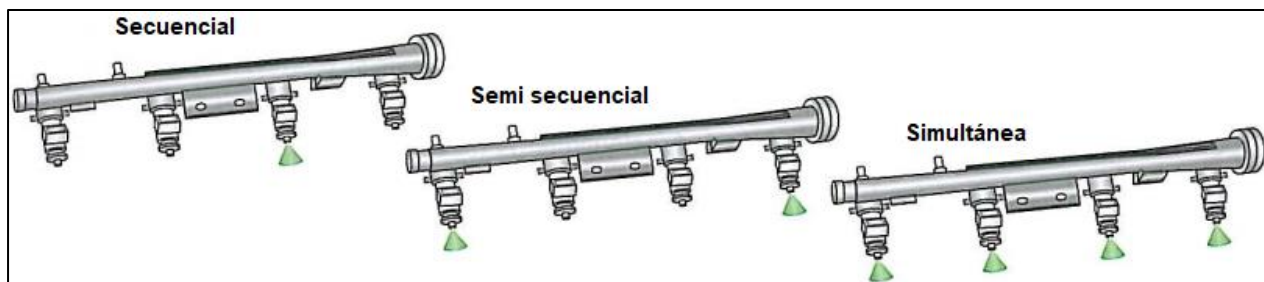
*Nota.* La inyección Monopunto se muestra en la figura 1, figura 2 muestra un inyector para cada cilindro es decir inyección multipunto. Tomado de Motores por (Acebes, 2011).

Según el funcionamiento. Depende de la activación de cada inyector, en esta clasificación se considera los sistemas multipunto.

- Secuencial. – La inyección se realiza de cilindro en cilindro de forma sincronizada de acuerdo con la apertura de la válvula de admisión
- Semi secuencial. – En este sistema los inyectores trabajan por pares.
- Simultánea o continua. – Los inyectores trabajan todos al mismo tiempo.

**Figura 8**

*Inyección según su funcionamiento*



*Nota.* Inyección de acuerdo con el momento de activación secuencial, semi secuencial y simultánea. Tomado de Sistemas Auxiliares del Motor por (Sánchez, 2008)

Según el funcionamiento de la computadora. Esta clasificación se enfoca en el origen del control de inyección y el encendido.

- Sistemas combinados. – El control de la inyección y del encendido se realiza en la misma computadora.
- Sistemas no combinados. – El control de la inyección y el encendido funcionan de forma separada.

### **Sensores básicos en el sistema de inyección**

Los sensores son elementos que captan datos de funcionamiento en tiempo real, para el funcionamiento del sistema de inyección de combustible es indispensable la obtención de los parámetros de funcionamiento del motor (datos de funcionamiento), para lo cual necesita de algunos sensores básicos.

**Sensor de temperatura del refrigerante.** Este sensor tiene la misión de obtener la temperatura del refrigerante que circula en el motor, es un termistor que a medida que aumenta la temperatura es varía su resistencia eléctrica, este sensor tiene un voltaje de referencia de 5V y una señal que varía entre 0.5V y 4.5V que es recibida por la computadora. Las siglas más usadas para nombrar a este sensor son:

- WTS (Water Temperature Sensor)



- ECT (Engine Coolant Temperature)
- CLT (Coolant Temperature)

La ubicación de este sensor debe ser donde pueda estar en contacto con el líquido refrigerante del motor, puede estar en el bloque o directamente en una conexión entre el radiador y el bloque motor.

### Figura 9

*Sensor de temperatura del refrigerante*

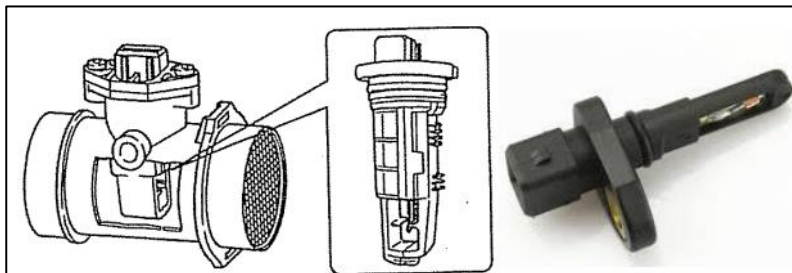


*Nota.* Sensor que varía su resistencia en función de la temperatura del refrigerante y ubicación en el motor. Tomado de Motores por (Acebes, 2011).

**Sensor de temperatura del aire en la admisión.** Este elemento trabaja de la misma forma que el sensor CLT, al variar la temperatura en la entrada a la admisión también lo hará su resistencia, la sigla más común para denominar este sensor el IAT (Intake Air Temperature).

### Figura 10

*Sensor de temperatura en la admisión*

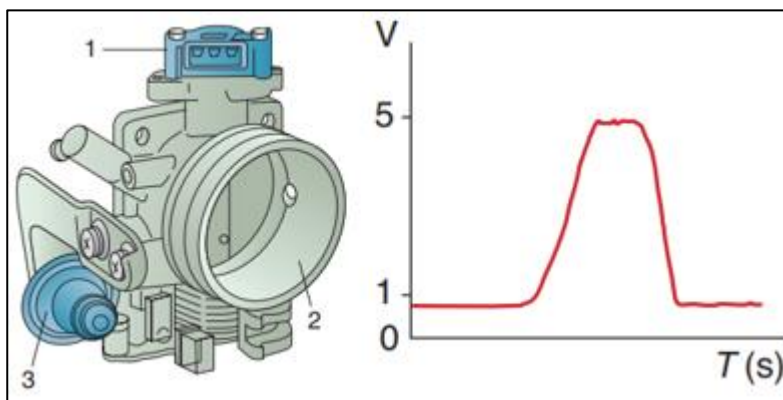


*Nota.* Sensor IAT ubicado de forma común en el conducto de la admisión para censar la temperatura del aire. Tomado de (Alonso, 2003).

**Sensor de posición del estrangulador.** Se lo conoce comúnmente como TPS (Throttle Position Sensor), este sensor detecta la posición del acelerador, se encuentra a un extremo de la mariposa o estrangulador, trabaja de forma similar a un potenciómetro, es decir cambia su resistencia interna en función de la apertura o cierre del estrangulador, su voltaje de referencia es de 5V y la señal varía de 0.5V a 4.5V.

**Figura 11**

*Sensor TPS*



*Nota.* Sensor de posición del acelerador TPS (1), Cuerpo de aceleración (2), amortiguador de cierre (3) y gráfica de variación la tensión de señal según la apertura del estrangulador.

Tomado de Sistemas Auxiliares del Motor por (Pardiñas, 2011).

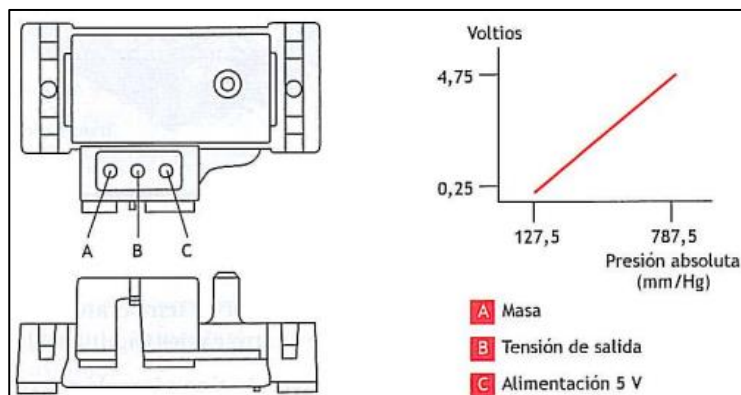
**Sensor de presión absoluta en el colector.** El sensor MAP (Manifold Absolute Pressure) se conecta mediante un tubo o manguera a los conductos de admisión, este proporciona una señal en función de la depresión que se genera por la apertura o cierre de la mariposa a las diferentes condiciones de funcionamiento del motor.

Lo más usual es que esté ubicado sobre múltiple de admisión, aunque hay motores que tienen este sensor asegurado al compartimento del motor y conectado a la admisión mediante una manguera, y por último existen variantes que este sensor se encuentra integrado dentro de la computadora del vehículo.

Su tensión de alimentación es de 5V mientras que la de señal oscila entre 0.5V y 4.5V dependiendo del valor de la depresión generada en el múltiple.

## Figura 12

*Sensor de presión absoluta MAP*

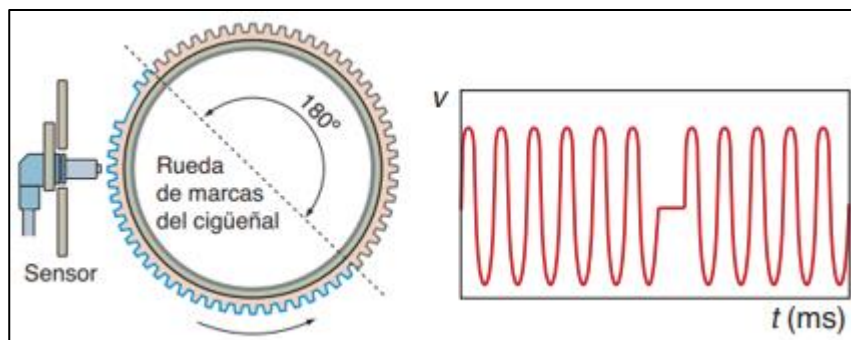


*Nota.* El sensor MAP es de tipo piezoeléctrico con una membrana sensible a la presión que genera la tensión de señal. Tomado de Sistema Auxiliares del Motor por (Sánchez, 2008).

**Sensor de revoluciones del motor.** Conocido también como CKP (Crankshaft Position), como su nombre lo dice capta las revoluciones del motor o la velocidad de giro del cigüeñal, además se puede determinar la posición de este, puede ser de tipo inductivo (2 cables) o de efecto Hall (3 cables).

Este sensor funciona en conjunto con una rueda dentada usualmente conocida como rueda fónica, en su corona dentada es más común encontrar de 60 menos 1 o menos 2 dientes (diente perdido), la ubicación del diente faltante o perdido es la referencia para determinar la posición y velocidad del cigüeñal, por ende, las revoluciones del motor.

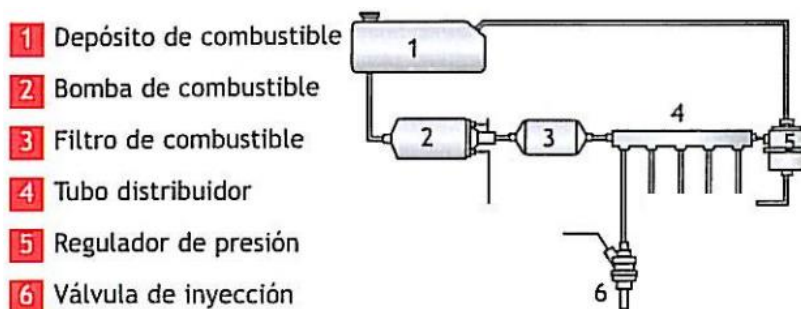
La rueda fónica tiene que ir fijada al movimiento del cigüeñal, es común manufacturar en el volante de inercia, en cambio cuando se realiza adaptaciones lo más cómodo es mecanizar una polea que se conecte al cigüeñal.

**Figura 13***Sensor CKP*

*Nota.* Sensor de posición y velocidad del motor junto a una rueda fónica de 60 menos 2 dientes, señal generada por el sensor. Tomado de *Sistemas Auxiliares del Motor* por (Pardiñas, 2011).

### **Actuadores elementales del sistema de inyección**

Los actuadores necesarios para la inyección son todos aquellos que realicen la alimentación de combustible, estos se encargarán de transportar el combustible, filtrar impurezas, elevar la presión y atomizar en una fina niebla dentro del cilindro.

**Figura 14***Actuadores elementales del sistema de inyección*

*Nota.* Actuadores encargados de realizar la alimentación de combustible al motor. Tomado de *Sistemas Auxiliares del Motor* por (Sánchez, 2008).

**Depósito de combustible.** Es aquí donde se deposita el combustible suministrado de la gasolinera, dentro de él se realiza la medición del nivel mostrarlo en el cuadro de instrumentos del vehículo.

**Bomba de combustible.** Absorbe el combustible del depósito, eleva la presión dentro del circuito que se comunica hacia el motor por lo general de 6 -6.5 bar.

**Filtro de combustible.** Retiene las impurezas encontradas en el combustible, posee en su interior un papel filtrante que impide el paso de partículas hacia el resto del circuito, su cuerpo es de material metálico para soportar la presión del circuito.

**Tubo distribuidor o riel de inyectores.** Este elemento es el soporte de los inyectores, aquí se da el suministro de combustible a cada inyector.

**Regulador de presión.** Se encuentra en un extremo del riel de inyectores, se encarga de regular y mantener una presión constante de combustible, posee un ducto de retorno hacia el tanque para enviar los flujos de sobrepresión.

**Válvula de inyección o inyector.** Este elemento es el encargado de pulverizar el combustible para formar la mezcla que ingresará al cilindro, su funcionamiento es de acuerdo con las señales de activación que envía la computadora en función de la lectura proporcionada por los sensores.

### **Parámetros de funcionamiento.**

Para el correcto funcionamiento se debe tener en cuenta varios aspectos, los mismos que determinaran el trabajo del motor bajo diferentes circunstancias de funcionamiento, para ello vamos a tratar los siguientes puntos.

#### ***Mezcla estequiométrica.***

Esta se refiere a la cantidad en partes de combustible y aire que se ha de mezclar para obtener una buena calidad de combustión, por medio de ensayos y cálculos se determinó que debe quemarse 14.7kg de aire por cada 1kg de combustible, dado que el motor funciona bajo diferentes condiciones cabe destacar que no siempre trabaja con la relación de 14.7:1,

dependiendo de las circunstancias la relación varía de 18:1 (mezcla pobre) de máximo rendimiento, a una mezcla de máxima potencia de 12.5:1, es decir una mezcla rica en combustible. (Acebes, 2011).

### ***Carga del motor.***

La carga del motor se denomina a la fuerza aplicada contra de la rotación del motor o la que está en oposición al par motor, esta puede provenir de varios factores y circunstancias, por ejemplo, en el estado de ralentí, la carga aplicada al motor es la de rozamientos internos, cuando el vehículo se mueva de un estado en reposo, la carga aplicada al motor es el peso del vehículo a vencer para ponerlo en movimiento. (Alonso, 2003).

Es así como para mantener una velocidad constante debe haber un equilibrio entre el par motor y la carga aplicada, el desbalance entre las dos origina el cambio de velocidad, si disminuye, la carga habrá superado al par motor, por otra parte, si aumenta de velocidad, el par motor supera a la carga generando una aceleración, el aumento del par motor está en función de la apertura o cierre del estrangulador.

La forma en que reconoce la carga la computadora es a través del sensor MAP, debido a que la variación de la depresión en el múltiple de admisión se origina por la carga aplicada.

### ***Temperatura de funcionamiento***

La temperatura a la cual se encuentre el motor es indispensable para determinar la dosificación de los inyectores, por el motivo que la volatilidad del combustible es proporcional a la temperatura, a mayor temperatura el combustible tiende a evaporarse con mucha facilidad los que facilita una mezcla homogénea, por otra parte, a bajas temperaturas ocurre un efecto contrario.

Es por esta razón que el enriquecimiento o empobrecimiento de la mezcla se realiza también en función de la temperatura del motor, citando como ejemplo, para el arranque en frío se realiza un enriquecimiento de la mezcla momentáneo, hasta que se alcance la temperatura de trabajo.

**Condiciones de funcionamiento**

Arranque en frío y periodo de calentamiento. En esta condición la mezcla ha de ser rica, debido a que el combustible no se volatiliza de forma rápida y tiene la tendencia de ubicarse en las paredes del cilindro, no se realiza una mezcla homogénea por lo tanto se debe compensar aumentando la dosificación de combustible. (Mezquita & Dols, 2001).

Aceleración. En el momento que se pisa el acelerador a fondo se abre la mariposa permitiendo el aumento de flujo hacia los cilindros, esto ocasiona el incremento de la presión en el múltiple, lo que demanda mayor potencia por parte del motor, por esta razón es necesario aumentar la dosificación de combustible para generar la máxima potencia posible, es decir la mezcla se enriquece. (Mezquita & Dols, 2001).

Desaceleración. Teniendo en cuenta que el vehículo se encuentre a una velocidad determinada y se deje de acelerar, la mariposa se cierra y la presión en el múltiple disminuye, la carga sobre el motor es mucho mayor al par motor, en este instante no se inyecta combustible ya que no hay demanda de potencia por parte del conductor, si se continua con la dosificación de combustible desencadena en el aumento de consumo, aumento de emisiones contaminantes y posiblemente explosiones en el escape. Cuando las revoluciones estén cerca de un límite establecido en la computadora se volverá a inyectar combustible para evitar que se apague el motor. (Mezquita & Dols, 2001).

## Capítulo III

### Desarrollo de la propuesta

#### Introducción.

En el siguiente capítulo se abordará temas como las condiciones iniciales del motor del prototipo de vehículo táctico militar, las pruebas desarrolladas para obtener los valores iniciales de las prestaciones del vehículo, el proceso que se llevó a cabo para optimizar el sistema de admisión y las pruebas desarrolladas para adquirir los nuevos valores de potencia, torque y consumo

#### Figura 15

*Prototipo Vehículo Táctico Militar*



*Nota.* Prototipo de vehículo táctico militar.

#### Condiciones iniciales del vehículo

El prototipo de vehículo táctico militar es una adaptación de la estructura y varias partes del modelo Chevrolet Trooper del año 1990, por esta razón el vehículo posee varias funciones y características del modelo mencionado, por lo que la transmisión conserva su función todo terreno, así mismo la propulsión lo realiza el motor Isuzu 4ZD1 proveniente del mismo modelo y posee las siguientes características.



**Tabla 1***Especificaciones Motor 4ZD1*

| <b>Especificación</b>                 | <b>Dato</b>  |
|---------------------------------------|--------------|
| Desplazamiento cc                     | 2 255        |
| Sistema de alimentación               | carburador   |
| Número de cilindros                   | 4 L          |
| Sistema de encendido                  | Distribuidor |
| Capacidad del depósito de combustible | 80L          |

*Nota.* Especificaciones del motor del prototipo de vehículo táctico militar. Tomado de Motor

Isuzu 4ZD1 por (My Motor List, s.f.).

**Figura 16***Motor 4ZD1*

*Nota.* Motor encarga de la propulsión del vehículo táctico militar en sus condiciones iniciales.

**Método de estimación de consumo**

Para evidenciar el consumo de combustible fue necesario modificar la alimentación de combustible del vehículo, se modificó el circuito de tal forma que el almacenamiento de combustible permita un continuo abastecimiento y permita la visibilidad del consumo en tiempo real.

Se preparó un recipiente graduado en litros, con capacidad total de 4L, se ubicó un lugar en el vehículo donde se pueda asegurar a la carrocería y evitar que durante la circulación se derrame el combustible, de la misma forma la ubicación fue en lugar visible para evidenciar el consumo de acuerdo con la graduación del recipiente.

### Figura 17

*Depósito de combustible*



*Nota.* La graduación del depósito de combustible se lo realizo con una jeringa de 100ml.

En el vehículo se interrumpió el circuito de alimentación entre el filtro de combustible y el depósito original, de la misma forma el retorno que proviene del motor, se colocó mangueras de mayor longitud de tal forma que la alimentación y el retorno de combustible hacia el motor provenga o se dirija hacia el recipiente graduado.

### Figura 18

*Adaptación de conexiones de alimentación*



*Nota.* 1 alimentación original, 2 alimentación desde el depósito graduado, 3 retorno del combustible.

Para el caso de la obtención de datos de tiempo, velocidad y distancia, se usó las aplicaciones para Android Velocímetro GPS y RaceChrono, que con la ayuda de satélites nos muestran los datos en tiempo real, además de un resultado al final del recorrido.

### Figura 19

*Aplicaciones utilizadas para la obtención de datos*



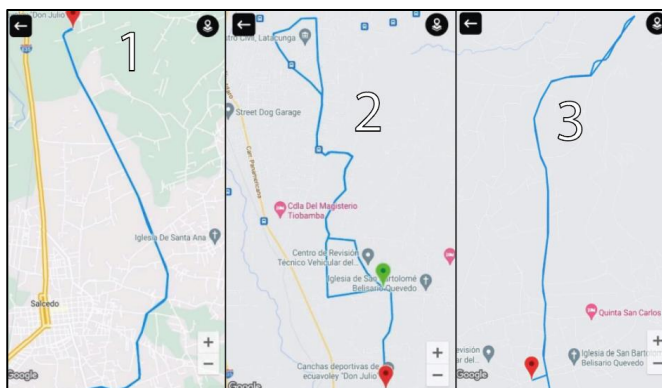
*Notas.* En la figura se muestra en el número 1 la aplicación Velocímetro GPS y en número 2 RaceChrono.

### Selección de rutas

Para determinar las rutas donde se realizaron las pruebas de consumo, se consideró características que determinen a las vías como de primer, segundo y tercer orden. Todas las rutas se encuentran en la ciudad de Latacunga en la parroquia Belisario Quevedo, El recorrido se conforma de ida vuelta al punto específico que fue el redondel en la calle Cesar León frente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## Figura 20

### Rutas seleccionadas

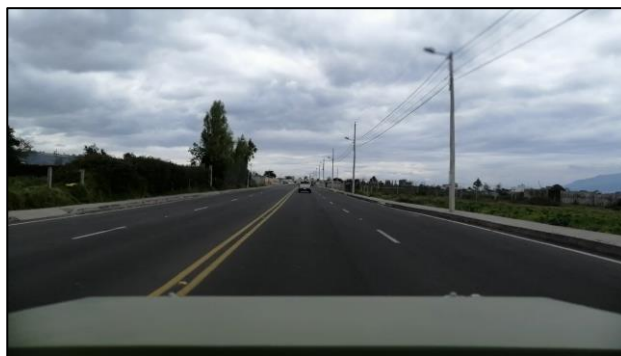


*Nota.* Ruta 1 vía a Salcedo. Ruta 2 hasta registro civil Latacunga. Ruta 3 vía Cerro Putzalhua.

Para el caso de la ruta 1 se escogió una vía que permita la comunicación entre zonas urbanas de tal forma que se la pueda determinar como una vía de primer orden.

## Figura 21

### Vía de primer orden

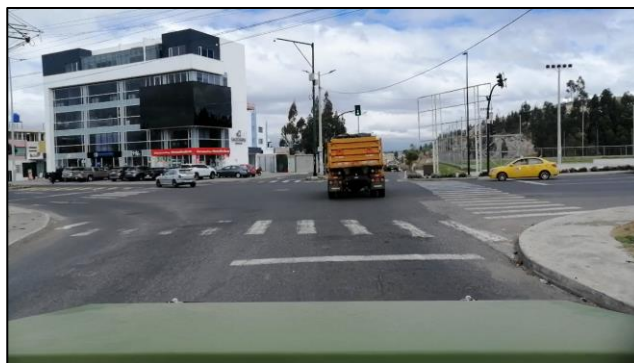


*Nota.* La figura muestra la vía seleccionada como Ruta 1 entre Latacunga y Salcedo.

Para la ruta 2 se consideró una vía que su recorrido sea en la zona urbana, que posea una alta densidad poblacional y además pueda conectarse con vías de primer orden, estas se las designa como vías de segundo orden, en donde se pueda apreciar alto flujo vehicular y presencia de edificaciones.

## Figura 22

*Vía de segundo orden*



*Nota.* La figura muestra la ruta número 2 de segundo orden vía camino al registro civil.

Por último, la ruta 3 se seleccionó de forma tal que sea una región rural, que sus caminos sean en una zona campestre de baja densidad poblacional y se la pueda designar como vía de tercer orden.

## Figura 23

*Vía de tercer orden*



*Nota.* En la figura se aprecia las características para que la ruta 3 sea designada como de tercer orden.

## **Pruebas realizadas previo a la optimización del sistema de alimentación.**

### ***Pruebas de ruta***

Se realizaron 5 pruebas en cada ruta, realizando 3 cada día, 1 prueba en cada ruta por día, esto con el fin de minimizar factores no controlados como, el propio tráfico en la vía,

temperatura del medio ambiente, etc., además establecer condiciones de manejo, se tomó en consideración el estado técnico del vehículo previo a realizar cada prueba.

**Tabla 2**

*Consideraciones previas a cada prueba*

| Condición                     | Parámetro                                                                                                                                     |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Revisión técnica del vehículo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveles de fluidos</li> <li>• Presión de neumáticos</li> <li>• Inspección visual de fugas</li> </ul> |
| Condiciones de manejo         | Límite de revoluciones 3000 rpm.                                                                                                              |

*Nota.* Condiciones que se tomaron en cuenta para la realización de cada prueba.

Los datos que se visualizan a continuación son los mostrados en el depósito graduado y las aplicaciones usadas durante las pruebas de ruta, existen variaciones en los valores debido a circunstancias adversas no controladas como el tráfico en la vía en ciertos días.

**Tabla 3**

*Datos obtenidos en Ruta 1*

| PARÁMETRO              | DIA 1   | DIA 2   | DIA 3   | DIA 4   | DIA 5   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Volumen inicial (L)    | 2,95    | 3,5     | 3,5     | 3,5     | 3,6     |
| Volumen final (L)      | 0,83    | 1       | 0,88    | 1,55    | 1,35    |
| Distancia (km)         | 15,1    | 15,06   | 15,06   | 11,91   | 15,03   |
| Tiempo                 | 0:20:30 | 0:15:26 | 0:15:39 | 0:14:14 | 0:13:40 |
| Velocidad media (km/h) | 45      | 58      | 57      | 50      | 66      |

*Nota.* Datos arrojados por aplicaciones y visualización del depósito de combustible en la ruta 1.

A continuación, se muestra las fórmulas utilizadas y el cálculo realizado para el día 1, para el resto de las rutas y días se opera de la misma manera, más adelante se visualiza la tabla con todos los resultados obtenidos.

- Fórmulas para obtener el consumo y rendimiento de combustible.

$$V_C = V_O - V_F \quad (3)$$

$V_C$  = Volumen consumido (L)

$V_o$  = Volumen inicial (L)

$V_F$  = Volumen final (L)

$$R = \frac{D_R}{V_C} \quad (4)$$

$R$  = rendimiento (km/L)

$D_R$  = Distancia recorrida (km)

$$R_P = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n}{n} \quad (5)$$

$R_P$  = Rendimiento promedio en ruta (km/L) o (km/gal)

$n$  = Número de días totales

- Cálculo del volumen consumido en la ruta 1 el día 1.

$$V_C = 2,95 - 0,83$$

$$V_C = 2,12 \text{ L}$$

- Cálculo de rendimiento en la ruta 1 el día 1.

$$R = \frac{15,1}{2,12}$$

$$R = 7,12 \text{ km/L}$$

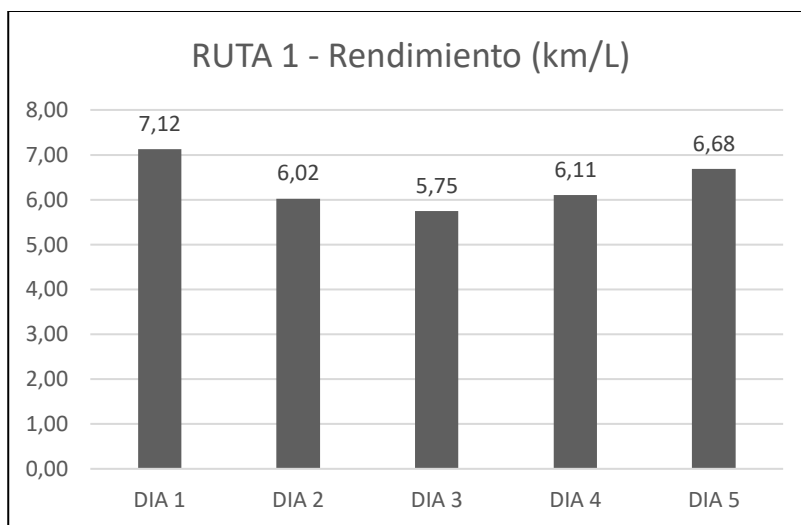
$$R = 26,96 \text{ km/gal}$$

**Tabla 4**

*Rendimiento de combustible Ruta 1*

| PARÁMETRO             | DIA 1 | DIA 2 | DIA 3 | DIA 4 | DIA 5 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen consumido (L) | 2,12  | 2,50  | 2,62  | 1,95  | 2,25  |
| Rendimiento (km/L)    | 7,12  | 6,02  | 5,75  | 6,11  | 6,68  |
| Rendimiento (km/gal)  | 26,96 | 22,80 | 21,76 | 23,12 | 25,28 |

*Nota.* Resultados de cálculos realizados para obtener el consumo y rendimiento en la ruta 1.

**Figura 24***Rendimiento de combustible Ruta 1*

*Nota.* Diagrama gráfico del rendimiento de combustible en ruta 1.

- Cálculo del rendimiento promedio de combustible en ruta 1.

$$R_p = \frac{7,12 + 6,02 + 5,75 + 6,11 + 6,68}{5}$$

$$R_p = 6,34 \text{ km/L}$$

$$R_p = 23,98 \text{ km/gal}$$

**Tabla 5***Datos obtenidos en ruta 2*

| PARÁMETRO              | DIA 1   | DIA 2   | DIA 3   | DIA 4   | DIA 5   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Volumen inicial (L)    | 3,5     | 4       | 4       | 4       | 4       |
| Volumen final (L)      | 0,38    | 0,78    | 0,94    | 0,9     | 0,99    |
| Distancia (km)         | 15,77   | 15,77   | 15,76   | 15,79   | 15,77   |
| Tiempo                 | 0:27:15 | 0:25:53 | 0:25:44 | 0:26:03 | 0:26:00 |
| Velocidad media (km/h) | 34      | 36      | 36      | 36      | 36      |

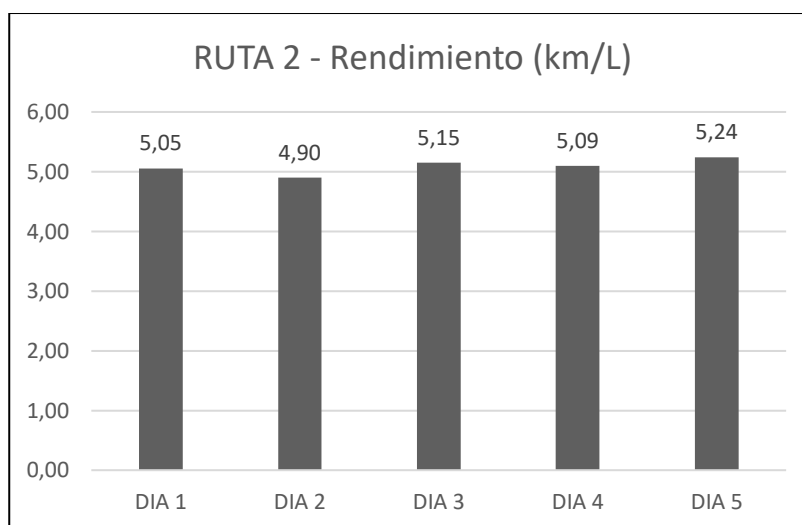
*Nota.* Datos arrojados por aplicaciones y visualización del depósito de combustible en la ruta 2.



**Tabla 6***Rendimiento de combustible ruta 2*

| PARÁMETRO             | DIA 1 | DIA 2 | DIA 3 | DIA 4 | DIA 5 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen consumido (L) | 3,12  | 3,22  | 3,06  | 3,10  | 3,01  |
| Rendimiento (km/L)    | 5,05  | 4,90  | 5,15  | 5,09  | 5,24  |
| Rendimiento (km/gal)  | 19,13 | 18,54 | 19,49 | 19,28 | 19,83 |

*Nota.* Resultados de cálculos realizados para obtener el consumo y rendimiento en la ruta 2.

**Figura 25***Rendimiento de combustible ruta 2*

*Nota.* Diagrama gráfico del rendimiento de combustible en ruta 2.

- Cálculo del rendimiento promedio de combustible en ruta 2.

$$R = \frac{5,05 + 4,90 + 5,15 + 5,09 + 5,24}{5}$$

$$R_p = 5,09 \text{ km/L}$$

$$R_p = 19,25 \text{ km/gal}$$

**Tabla 7***Datos obtenidos ruta 3*

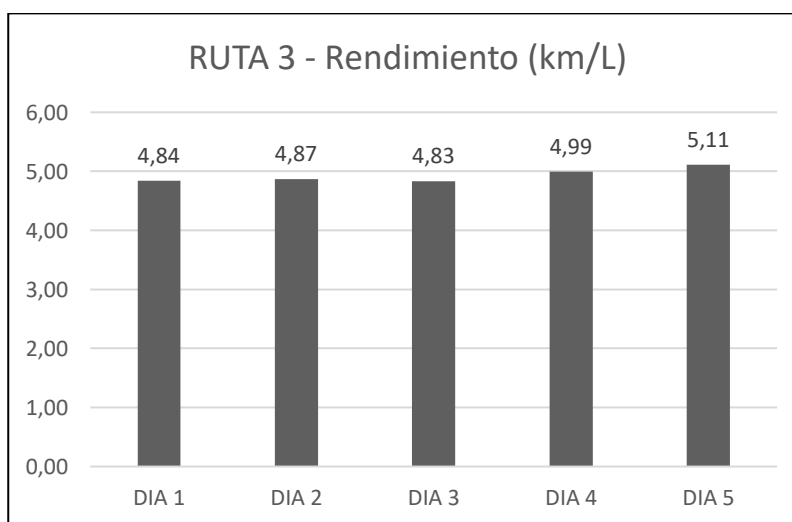
| PARÁMETRO              | DIA 1   | DIA 2   | DIA 3   | DIA 4   | DIA 5   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Volumen inicial (L)    | 4       | 4       | 4       | 4       | 4       |
| Volumen final (L)      | 1,1     | 1,12    | 1,1     | 1,19    | 0,9     |
| Distancia (km)         | 14,03   | 14,02   | 14,01   | 14,03   | 15,84   |
| Tiempo                 | 0:27:32 | 0:27:50 | 0:28:15 | 0:25:16 | 0:31:39 |
| Velocidad media (km/h) | 30      | 30      | 29      | 33      | 30      |

*Nota.* Datos arrojados por aplicaciones y visualización del depósito de combustible en la ruta 3.

**Tabla 8***Rendimiento de combustible ruta 3*

| PARÁMETRO             | DIA 1 | DIA 2 | DIA 3 | DIA 4 | DIA 5 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen consumido (L) | 2,90  | 2,88  | 2,90  | 2,81  | 3,10  |
| Rendimiento (km/L)    | 4,84  | 4,87  | 4,83  | 4,99  | 5,11  |
| Rendimiento (km/gal)  | 18,31 | 18,43 | 18,29 | 18,90 | 19,34 |

*Nota.* Resultados de cálculos realizados para obtener el consumo y rendimiento en la ruta 3.

**Figura 26***Rendimiento de combustible ruta 3*

*Nota.* Diagrama gráfico del rendimiento de combustible en ruta 3.

- Cálculo del rendimiento promedio de combustible en ruta 3.

$$R_p = \frac{4,84 + 4,87 + 4,83 + 4,99 + 5,11}{5}$$

$$R_p = 4,93 \text{ km/L}$$

$$R_p = 18,65 \text{ km/gal}$$

**Tabla 9**

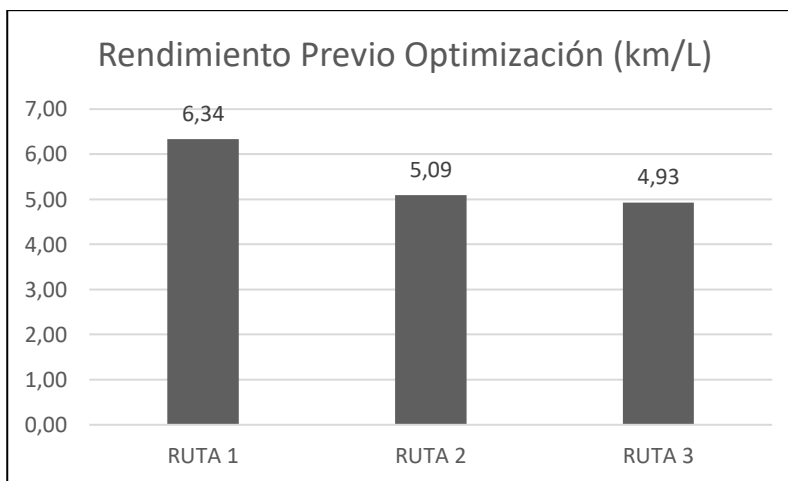
*Rendimiento promedio previo a la optimización del sistema*

| PARÁMETRO                     | RUTA 1 | RUTA 2 | RUTA 3 |
|-------------------------------|--------|--------|--------|
| Rendimiento promedio (km/L)   | 6,34   | 5,09   | 4,93   |
| Rendimiento promedio (km/gal) | 23,98  | 19,25  | 18,65  |

*Nota.* Rendimiento promedio del vehículo con sistema de alimentación de carburador.

**Figura 27**

*Rendimiento previo a la optimización del sistema de alimentación*



*Nota.* Diagrama gráfico comparativo del rendimiento del vehículo en las tres rutas.

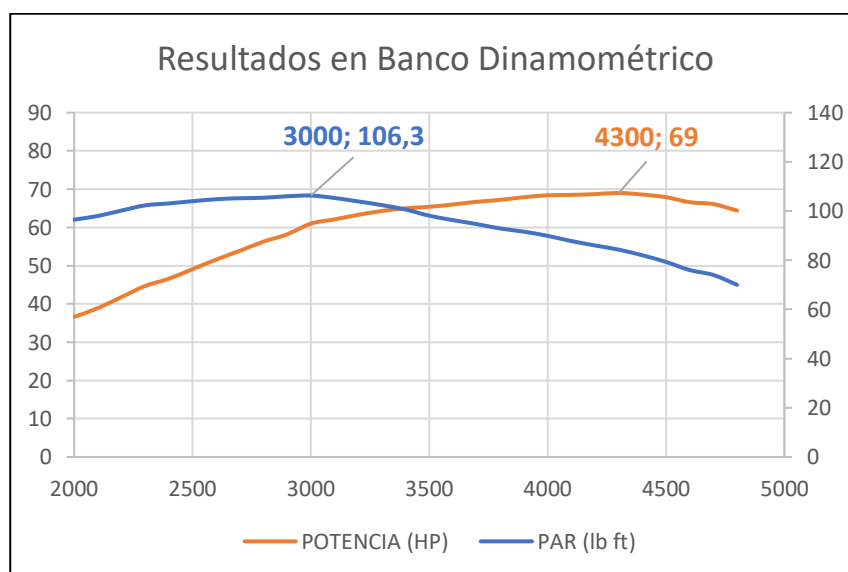
### ***Prueba en banco dinamométrico***

Con la realización de esta prueba se obtuvo los valores de par y potencia del motor con sistema de alimentación de carburador, se pretende visualizar los valores iniciales previos a la optimización del sistema de alimentación.

**Tabla 10***Resultado del banco dinamométrico*

| Velocidad del motor (rpm) | Par (lb ft) | Potencia (HP) |
|---------------------------|-------------|---------------|
| 2300                      | 102,3       | 44,7          |
| 2500                      | 104         | 49,1          |
| 2700                      | 105,2       | 53,9          |
| 2900                      | 106         | 58,2          |
| 3100                      | 105,3       | 62,1          |
| 3300                      | 102,4       | 64,3          |
| 3500                      | 98,1        | 65,4          |
| 3700                      | 94,7        | 66,7          |
| 3900                      | 91,6        | 67,9          |
| 4100                      | 87,8        | 68,5          |
| 4300                      | 84,3        | 69            |
| 4500                      | 79,3        | 67,9          |

*Nota.* Resultados obtenidos en el dinámetro a la temperatura de 32,2 °C y presión 727,1 HPa.

**Figura 28***Curvas características obtenidas en el dinamómetro*

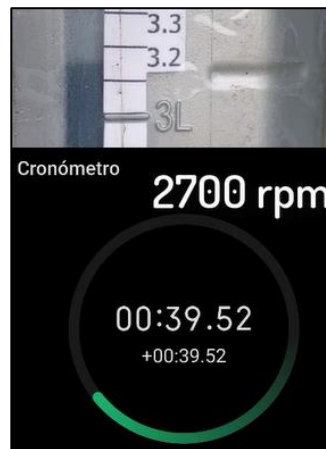
*Nota.* Curvas características con potencia máxima de 69 Hp y par máximo de 106,3 lb ft.

### Curva de consumo específico

Para obtener la curva de consumo específico es necesario medir el tiempo que tarda en consumir 0,1L de combustible, se procedió a realizar la medición para cada una de las revoluciones con los resultados de par y potencia.

#### Figura 29

Medición de tiempo de consumo de 0,1L de combustible



*Nota.* La figura muestra el instante que se mide el tiempo que consume de 3,2L a 3,1L a 2700 rpm.

- Potencia.

$$P = \frac{M * n * 0,1383}{716 * 1,0138}$$

$$P = \frac{(102,3 \text{ lb ft})(2300 \text{ rpm})(0,1383)}{716 * 1,0138}$$

$$P = 44,83 \text{ hp}$$

El tiempo que le tomo al motor en consumir 0,1L de combustible a 2300 rpm fue de 105 segundos, además es necesario conocer el valor de la densidad del combustible utilizado en las pruebas, esta fue la gasolina extra comercial, con este dato obtuvimos el consumo específico para dichas revoluciones.

**Tabla 11**

*Densidad de gasolina extra en el Ecuador*

| <b>Característica</b> | <b>Propiedad específica</b> |
|-----------------------|-----------------------------|
| Densidad              | 0,72 g/cm <sup>3</sup>      |

*Nota.* Densidad de gasolina extra utilizada para la realización de las pruebas y comercializada en el país. Tomado de Sistema Integrado de Consulta de Clasificaciones y Nomenclaturas por (Instituto Nacional de Estadística y Censos, s.f.)

- Consumo específico

$$C_e = \frac{3,6 * 10^5 * d}{P * t}$$

$$C_e = \frac{3,6 * 10^5 * 0,72g/cm^3}{44,83 hp * 68}$$

$$C_e = 85,03 g/hp h$$

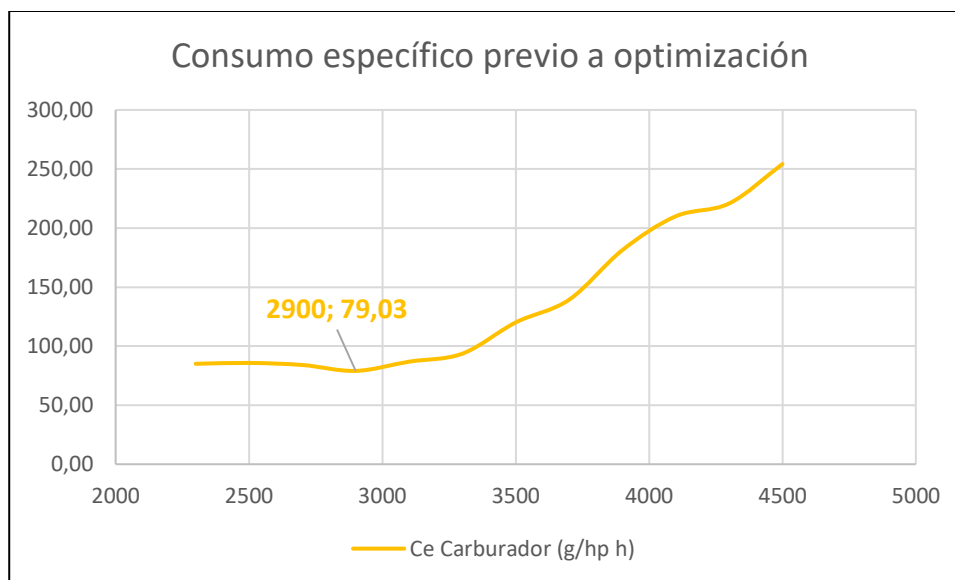
**Tabla 12**

*Consumo específico para distintas revoluciones del motor*

| <b>Velocidad de motor (rpm)</b> | <b>Par (lb ft)</b> | <b>P (hp)</b> | <b>Tiempo 0,1 L (seg)</b> | <b>Ce (g/hp h)</b> |
|---------------------------------|--------------------|---------------|---------------------------|--------------------|
| 2300                            | 102,3              | 44,83         | 68                        | 85,03              |
| 2500                            | 104                | 49,54         | 61                        | 85,78              |
| 2700                            | 105,2              | 54,12         | 57                        | 84,03              |
| 2900                            | 106                | 58,57         | 56                        | 79,03              |
| 3100                            | 105,3              | 62,19         | 48                        | 86,83              |
| 3300                            | 102,4              | 64,38         | 43                        | 93,63              |
| 3500                            | 98,1               | 65,42         | 33                        | 120,07             |
| 3700                            | 94,3               | 66,48         | 28                        | 139,25             |
| 3900                            | 91,6               | 68,06         | 21                        | 181,34             |
| 4100                            | 87,8               | 68,59         | 18                        | 209,96             |
| 4300                            | 84,3               | 69,06         | 17                        | 220,77             |
| 4500                            | 79,3               | 67,99         | 15                        | 254,16             |

**Figura 30**

*Consumo específico y par previo a la optimización*



*Nota.* Se puede apreciar el mínimo consumo de 79,03 g/hp h a 2900 rpm

**Optimización del sistema de alimentación**

Para empezar con la optimización se procedió a retirar el sistema de alimentación a carburador, se extrajo el sistema de encendido por distribuidor, y retirar el circuito de combustible.

**Figura 31**

*Desmontaje de componentes*



*Nota.* Elementos retirados del motor 4ZD1.

Para determinar los elementos que se han de utilizar en la optimización se tomó en cuenta la disponibilidad en el mercado y la flexibilidad de adaptación al motor 4ZD1, lo más factible fue utilizar una computadora programable con el fin de controlar los parámetros de funcionamiento del motor.

### ***Computadora programable***

Se optó por la computadora Sp tronics SM200 MX3 pro, por su adaptabilidad de programación mediante laptop con el programa TunerStudio mediante un archivo de reconocimiento, además de las siguientes características.

- Inyección secuencial 4 cilindros
- Inyección semi secuencial hasta 8 cilindros
- 4 salidas para inyectores de alta impedancia
- 4 salidas para bobinas con módulo y sin módulo
- Control de relé de bomba de combustible
- Sensor MAP integrado de 4 bar
- Doble mapa de programación
- Arnés de cables
- Conector de seguridad

### **Figura 32**

*Computadora programable SP Tronics MX3 Pro*



*Nota.* Computadora programable con sensor MAP integrado.



### ***Cuerpos de aceleración independientes (ITB)***

Como su nombre lo dice consta de 4 estranguladores, uno por cada cilindro, este elemento es el más utilizado para adaptaciones de inyección electrónica por ser muy versátil con computadoras programables, el costo de los ITBs (Individual Throttle Body) es sumamente alto si se desea adquirir nuevos, además de su escases en el país, por esta razón se realizó la adquisición del equipo de segunda mano, este conjunto viene ya con sus elementos complementarios como inyectores de 250 *cc/min*, sensor TPS, riel de alimentación y acoples para el múltiple de admisión.

### **Figura 33**

*Cuerpos de aceleración independientes ITBs*

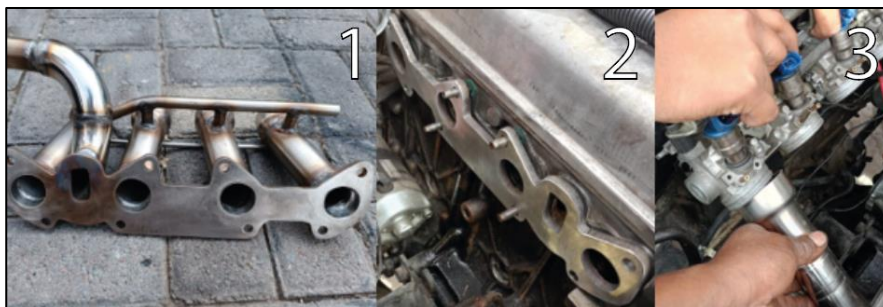


*Nota.* Los cuerpos son de 4 *mm* dado que el motor tiene una cilindrada de 2300 *cc*, viene equipado con el riel de alimentación (1), 4 inyectores (2) y 4 acoples para el múltiple de admisión (3).

### ***Múltiple de admisión***

Los cuerpos de aceleración necesitan del múltiple de admisión para comunicarse con el cabezote, pero este elemento no existe específicamente para nuestro caso, por lo que fue necesario construir uno basándose con el múltiple de admisión original.

Se construyó en acero inoxidable para evitar su deterioro y sobre todo la formación de óxido en la superficie que pudiera entrar al cilindro, se tomó como referencia la base del múltiple original y que los conductos conecten los orificios de admisión con los cuerpos de aceleración.

**Figura 34***Múltiple de admisión*

*Nota.* Múltiple en acero inoxidable (1), base del múltiple (2), toma de referencias (3).

**Sensor CKP y rueda fónica**

El sensor de posición del cigüeñal se utilizó en la maraca Kia, ya que este sensor trabaja con una rueda dentada de 60 – 2 dientes, se construyó una base de tal forma que fije de forma segura al sensor y evitar movimientos entre este y la rueda fónica.

**Figura 35***Sensor CKP y rueda fónica*

*Nota.* Rueda fónica de 60 dientes con dos perdidos y ubicación del sensor CKP.

**Sensor CLT**

Fue necesario adquirir un soporte para el sensor CLT, esta se colocó en el conducto de refrigerante que conecta el radiador con el motor, existen dos sensores ya que uno de ellos se comunica con el cuadro de indicadores y el otro con la computadora programable.

**Figura 36**

*Soporte del sensor CLT*



*Nota.* En la figura se puede apreciar el soporte para el sensor CLT y la ubicación del mismo.

### **Sensor IAT**

Este sensor encargado de medir la temperatura del aire debe colocarse antes de cuerpo de aceleración, en vehículo comunes por lo general va colocado en el conducto que comunica el depurador con el cuerpo de aceleración, para nuestro caso que utilizamos ITBs se procedió a colocar en una de las cornetas de admisión.

**Figura 37**

*Sensor IAT*



*Nota.* Sensor IAT ubicado en la corneta perteneciente al primer cilindro, obtendrá valores de la temperatura del aire que ingresará al cilindro.

### ***Bobinas tipo COP***

Se utilizó el sistema COP (Coil on Plug) que se caracteriza por tener una bobina para cada bujía, estas bobinas tienen incorporado su modulo en el mismo cuerpo, por lo tanto, la computadora se encarga únicamente de controlar las señales de activación de cada bobina, se adquirió en la marca Carbole de modelo redondo D585.

### **Figura 38**

*Bobinas de encendido COP*



*Nota.* Bobinas de encendido tipo COP, se aprecia el soporte construido para la ubicación de las bobinas.

### ***Regulador de presión del riel de combustible***

Fue necesario la adquisición de un regulador que mantenga la presión constante y sin variación en del riel de alimentación de los ITBs, este regula la presión a  $5 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo con las especificaciones de los inyectores.

**Figura 39***Regulador de presión de combustible*

*Nota.* Regulador de combustible marca Tomei de hasta 8 kg/cm<sup>2</sup>.

***Bomba de combustible***

Se adquirió una bomba de combustible tipo externa, ya que esto nos facilita realizar la alimentación de combustible desde el depósito graduado, si fuera el caso de una bomba tipo sumergida, tendríamos el riesgo que la bomba se queme por falta de refrigeración dado las características del depósito.

**Figura 40***Bomba de combustible externa*

*Nota.* Bomba de combustible externa Epman de 300 lt/h con presión de 6 – 6,5 bar.

El circuito de alimentación de combustible trabaja de 6 – 6,5 bar, por esta razón el circuito original no puede garantizar un trabajo sin fugas de combustible, además el diámetro del circuito de retorno es menor, por lo antes expuesto fue necesario retirar el circuito anterior e



instalar un nuevo circuito con mangueras reforzadas ideales para la presión de trabajo y un retorno sin problemas.

### **Conexiones**

El circuito de conexiones entre sensores, actuadores con la computadora se lo realizó de acuerdo al manual de la misma, en el socket principal cada pin de conexión se encuentra designado para un elemento específico.

#### **Figura 41**

*Socket de conexión de la computadora*

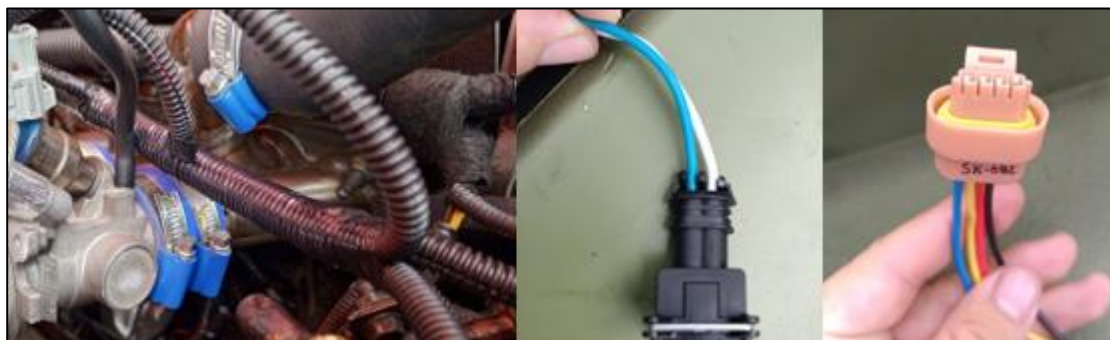


*Nota.* La designación de pines y diagrama de conexión se encuentra en la sección de anexos.

Para evitar problemas de funcionamiento por malas conexiones se optó por comprar los sockets apropiados para cada sensor y actuador, se realizó la protección del cableado con manguera corrugada y cinta de protección.

#### **Figura 42**

*Cableado del motor*



*Nota.* Protección del cableado y sockets o conectores del sensor IAT y las bobinas.

**Figura 43**

*Ensamble final del sistema de alimentación con inyección electrónica*



*Nota.* Motor 4ZD1 con sistema de alimentación optimizado.

***Programación de la ECU***

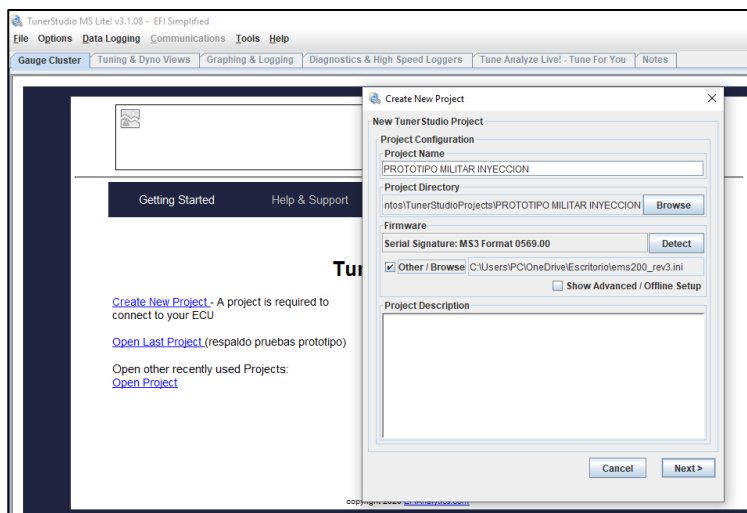
La programación de la inyección electrónica está dada en base a cuadros de valores estequiométricos de la mezcla aire-combustible. Inicialmente es necesario ingresar parámetros a la computadora programable, debido a que con esos valores se podrá arrancar el motor y acceder a la programación final de la computadora. Para la programación de la computadora programable se debe seguir los siguientes pasos:

Create New Project Para iniciar un nuevo proceso de programación de la computadora programable colocaremos la llave en la posición ON del switc energizando el sistema y tener comunicación con el software TunerStudio MS.

A continuación, nos dirigimos a “Create New Project”, y seguido en la ventana emergente en la pestaña “Project Name” colocamos el Título del Proyecto “PROTOTIPO MILITAR INYECCION”, Finalmente en la pestaña “Other/Browse” marcamos y colocamos el Drive “ems200\_rev3.ini” el cual nos permitirá reconocer la computadora programable y continuar con el proceso de programación.

**Figura 44**

*Creación de nuevo proyecto*

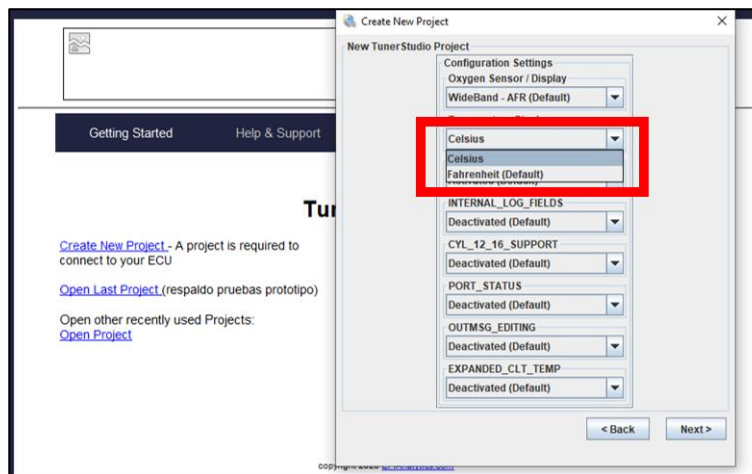


*Nota.* Configuración inicial del proyecto y selección de parámetros iniciales

Marcando la opción “Next>” en la ventana “New TunerStudio Project” en el parámetro “Temperature Display” colocaremos “Celcius” como nuestra unidad de trabajo

**Figura 45**

*Selección unidad de trabajo de la temperatura*



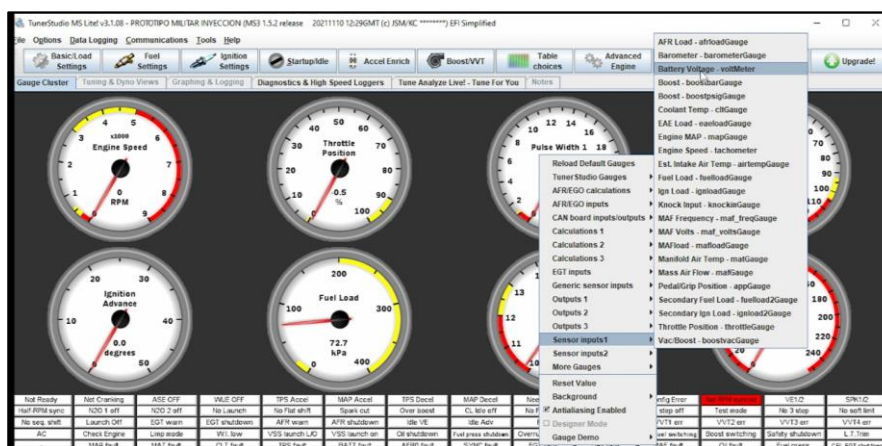
*Nota.* Unidad de temperatura que se utilizara durante el proyecto y visualización en los manómetros del programa.



En la pantalla principal visualizamos los diferentes manómetros que se utilizarán en el proceso de programación, es por ello que debemos seleccionar los parámetros que nos indicaran cada uno de ellos. Nos dirigimos con el cursor y al realizar click izquierdo se desplegará varias opciones, dirigiéndonos hacia la opción “Sensor Inputs 1” y seleccionamos los parámetros a visualizar en los manómetros.

**Figura 46**

### Selección de Manómetros



*Nota.* Selección de los manómetros a utilizar durante la programación.

Los parámetros que se utilizarán durante el proceso de programación son de vital importancia ya que nos proporcionarán información a través de los manómetros sobre cada uno de los sensores, los cuales fueron seleccionados como se detalla en la tabla

**Tabla 13**

### Parámetros de los manómetros

| Parámetro         | Función                                                                                                        |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Engine Speed      | Nos permite visualizar las revoluciones del motor                                                              |
| Throttle Position | Indica el porcentaje de apertura del estrangulador de los ITVs                                                 |
| Ignition Advance  | Indica los grados al avance o retroceso del encendido                                                          |
| Fue Load          | Nos indica la presión del múltiple de admisión de la mezcla aire-combustible pasa por el cuerpo de aceleración |
| Battery Voltage   | Indica el voltaje de la batería del vehículo                                                                   |

| Parámetro         | Función                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------|
| Manifold Air Temp | Indica la temperatura del aire de entrada en la admisión |
| Coolant Temp      | Permite visualizar la temperatura del refrigerante       |

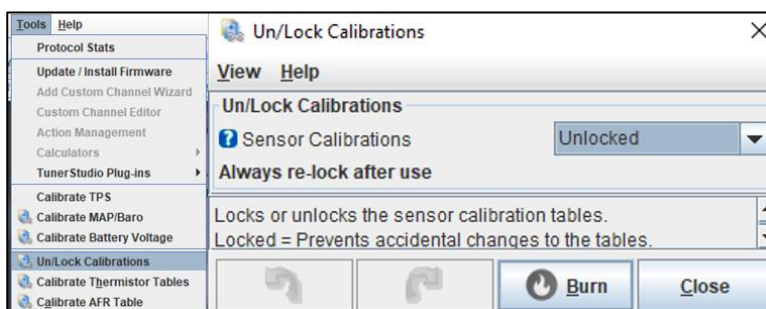
*Nota.* Especificaciones de funcionamiento de los manómetros

Tools (Herramientas) En este apartado nos permite realizar las calibraciones de los diferentes sensores que utilizamos en el proceso de conversión, así como también detallar las especificar qué tipo de sensor y su marca utilizamos.

En este apartado nos dirigiremos a Tools que no desplegara las opciones de calibraciones e iniciaremos con el desbloqueo de las mismas en la opción “Un/Lock Calibrations” para finalmente seleccionar la opción de desbloquear “Unlocked” y guardar el cambio en “Burn”.

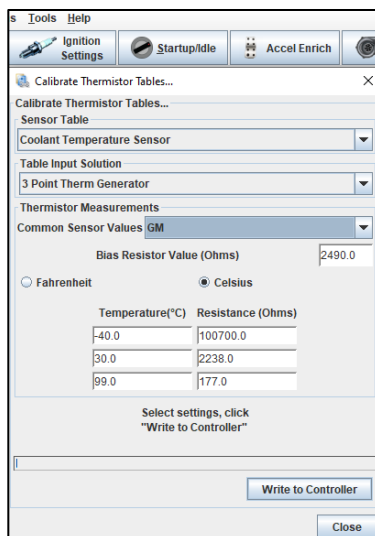
#### Figura 47

##### *Desbloqueo de Calibraciones*



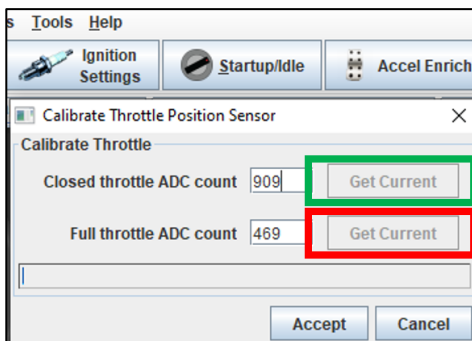
*Nota.* Proceso de desbloqueo de las calibraciones de los sensores

Para la calibración del sensor de temperatura del refrigerante CLT en la pestaña Tools y en la opción “Calibrate Thermistor Tables” procedemos a ingresar las especificaciones del sensor, iniciaremos seleccionando el sensor de temperatura del refrigerante (Coolant Temperature Sensor), posteriormente en el apartado “Common Sensor Values” e indicamos el tipo de sensor la marca del sensor utilizado para finalizar hacer click en “Write to Controller” para guardar los cambios.

**Figura 48***Calibración del sensor de temperatura del refrigerante CLT*

*Nota.* Selección del tipo de sensor, marca del sensor y la unidad de temperatura.

Para la calibración del TPS (Throttle Position Sensor) en la sección Tools en la opción “Calibrate Throttle” en la sección “Closed Throttle ADC count” verificar que la mariposa de los ITVs esté completamente cerrada y damos click en “Get Current”, a continuación, en el apartado “Full Throttle ADC count” manualmente abrimos las mariposas de los ITVs indicando el ángulo de apertura máxima de la misma y damos click en Get Current. Finalmente damos click en “Accept” para guardar los valores de la calibración del sensor.

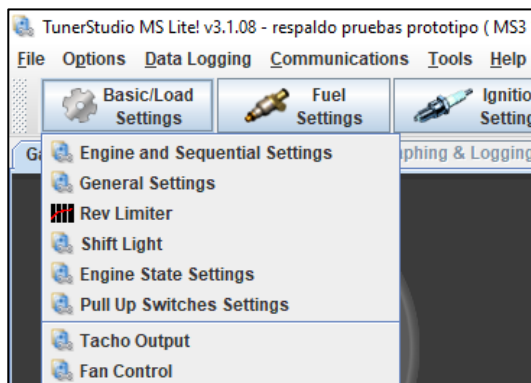
**Figura 49***Calibración del sensor TPS*

*Nota.* Valores de calibración del sensor TPS

Basic/Load Settings La parte más elaborada en el software de programación TunerStudio es la configuración básica que se debe configurar varios menús, propiedades y tablas.

### Figura 50

*Menú de configuración Basic/Load Settings*



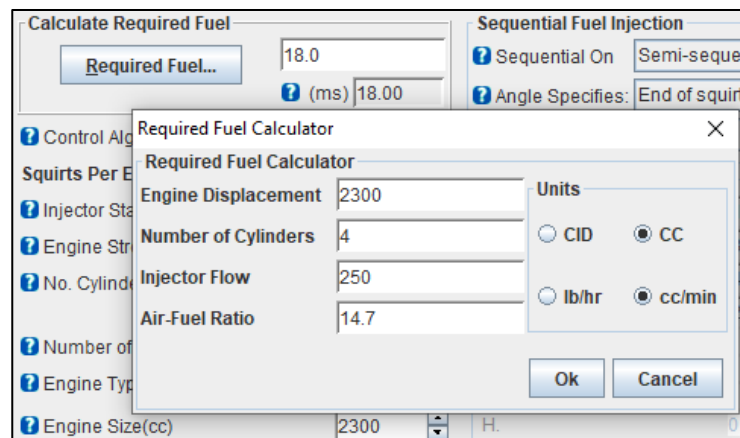
*Nota.* Menús de configuración de tablas y propiedades básicas para iniciar con la programación del vehículo

Para iniciar las configuraciones básicas nos dirigimos al primer apartado "Engine and Secuencial Settings" y procedemos a calcular el requerimiento de combustible para determinar el tiempo en mili-segundos el tiempo de inyección que requiere el motor, para obtener este tiempo introducimos valores en los siguientes apartados:

- Engine Displáceme: Cilindraje del motor en cm3.
- Number of Cylinders: Número de cilindros del motor.
- Injector Flow: Es el flujo de combustible que inyecta el inyector en cc/min.
- Air-Fuel Ratio: Mezcla estequiométrica del motor Otto

**Figura 51**

*Cálculo del requerimiento del combustible*



*Nota.* Se debe ingresar parámetros de funcionamiento y características del motor

Una vez calculado el requerimiento del combustible procedemos a llenar los siguientes apartados de la configuración del “Engine and Secuencial Settings”:

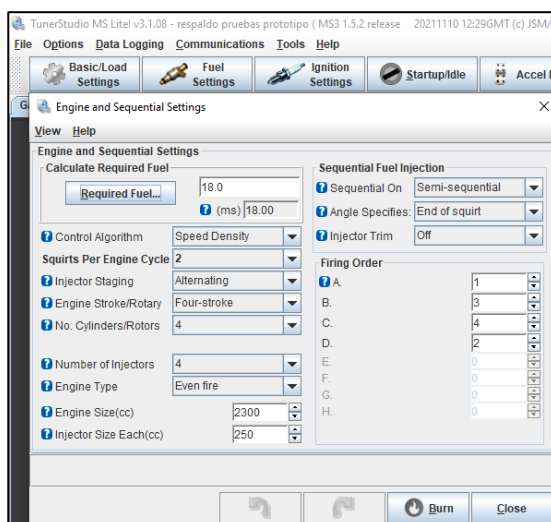
- Control Algorithm: Algoritmo para gestionar el motor en este caso utilizamos Speed Density o MAP.
- Squirts Per Engine Cycle: Valor recomendado a usas es 2 pulverizaciones por ciclo
- Injector Staging: Para los ciclos de inyección tenemos dos opciones de sincronización utilizada para los inyectores: “Alternating” y “Simultaneous”. En este caso trabajaremos con la configuración Alternating debido a que los inyectores serán activados de manera independiente.
- Engine Stroke: Seleccionamos la opción Four-stroke que nos hace referencia a que nuestro motor es de 4 tiempos.
- Number of Cylinders: Numero de cilindros del motor utilizado.
- Number of Injectors: Número de inyectores utilizados en el motor.

- Engine Type: Tipo de motor seleccionar “Even Fire” debido a que la mayoría de los motores son de este tipo.
- Engine Size(cc): Cilindraje del motor.
- Injector Size Each(cc): Volumen de inyección del inyector.
- Injector Trim: Esta opción la dejaremos en “Off” por defecto.

En el apartado de secuencia de inyección de combustible seleccionamos el tipo de inyección utilizada para nuestro caso utilizamos a configuración Semi secuencial y finalmente en “Firing Order” seleccionamos el orden de encendido de la ignición acorde al orden de encendido del motor.

## Figura 52

### Configuración de motor y secuencia

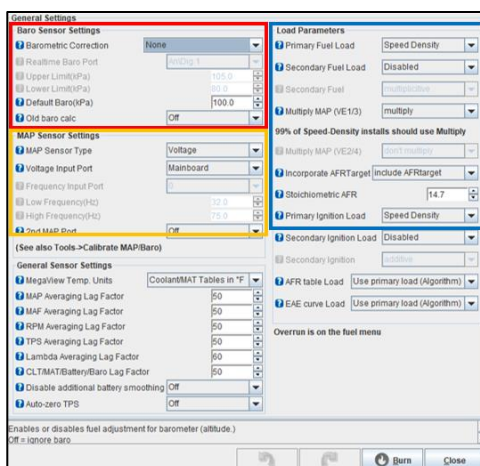


*Nota.* Tabla con valores del tipo de motor, tipo de inyección y orden de ignición.

En la segunda opción de la configuración básica y de carga realizamos el llenado de los apartados de “General Settings”, en esta pestaña tendremos varios apartados como son: Baro Sensor Settings, MAP Sensor Settings, General Sensor Settings y Load Parameters.

**Figura 53**

*Configuraciones generales*



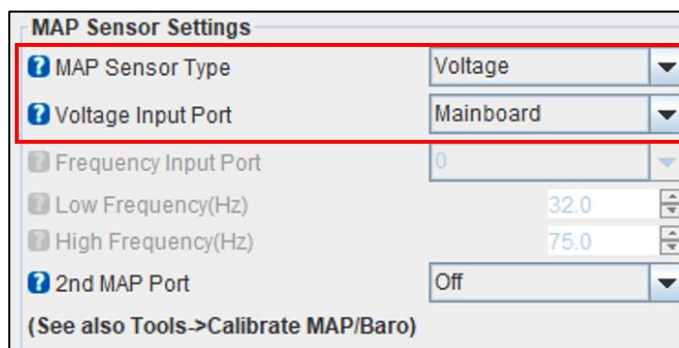
*Nota.* Configuración del sensor barométrico, MAP, sensores generales y parámetros de carga

En la configuración del Sensor Baro y sensores generales los apartados los dejamos por default ya que para el proyecto no requerimos de sensores para realizar correcciones barométricas.

Para la configuración del sensor MAP indicamos el tipo de sensor utilizado estos pueden ser controlados por voltaje o frecuencia y seleccionamos la ubicación del sensor, para este caso seleccionaremos que es controlado por voltaje y su ubicación en la placa de la computadora programable “Mainboard”.

**Figura 54**

*Configuración del sensor MAP*



*Nota.* Tipo y ubicación del sensor MAP

Los parámetros de carga indicaremos como el vehículo va a funcionar, en la carga primaria de combustible y carga primaria de ignición seleccionamos la opción “Speed Density” ya que trabajamos a partir del sensor MAP, la carga secundaria de combustible desactivamos debido a que no tendremos excesos de presiones, no trabajara el motor a altas revoluciones. En la relación de mezcla estequiométrica “Stoichiometric AFR” utilizamos el valor de 14.7.

### Figura 55

#### Parámetros de carga

| Load Parameters                                   |                              |
|---------------------------------------------------|------------------------------|
| Primary Fuel Load                                 | Speed Density                |
| Secondary Fuel Load                               | Disabled                     |
| Secondary Fuel                                    | multiplicative               |
| Multiply MAP (VE1/3)                              | multiply                     |
| 99% of Speed-Density installs should use Multiply |                              |
| Multiply MAP (VE2/4)                              | don't multiply               |
| Incorporate AFRTarget                             | include AFRTarget            |
| Stoichiometric AFR                                | 14.7                         |
| Primary Ignition Load                             | Speed Density                |
| Secondary Ignition Load                           | Disabled                     |
| Secondary Ignition                                | additive                     |
| AFR table Load                                    | Use primary load (Algorithm) |
| EAE curve Load                                    | Use primary load (Algorithm) |
| Overrun is on the fuel menu                       |                              |

*Nota.* Características de funcionamiento del motor

En la configuración de Limitador de Revoluciones (Rev Limiter) de la configuración básica y de carga podemos detallar las condiciones de trabajo del motor en cuanto a sus revoluciones, iniciaremos limitando las revoluciones máximas del motor “Hard Rev Limit (RPM)” a un valor de 5800, a continuación, ingresaremos en valor de “Soft Limit Zone / Hysteresis (RPM)” de 200.

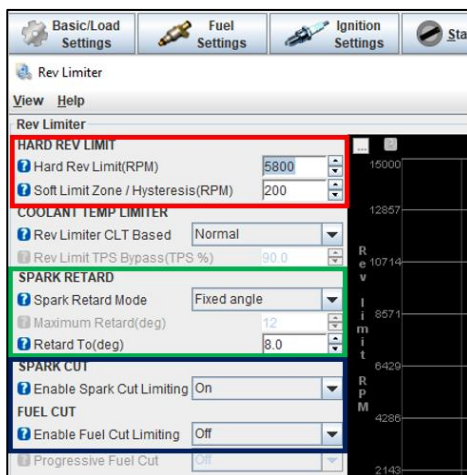
El retardo a la chispa “SPARK RETARD” nos generara un retraso al encendido cuando las revoluciones máximas este próxima a alcanzar su límite en el rango de la histéresis y esta se le puede calibrar como un ángulo fijo “Fixed angle” o retardo progresivo “Progressive retard”, una vez alcanzado el límite máximo de evoluciones existen dos opciones de corte ya sea por



gasolina “FUEL CUT” o corte por chispa “SPARK CUT” la cual seleccionaremos para nuestro limitador debido a su rápida acción en comparación al corte por combustible.

**Figura 56**

*Límite de Revoluciones del motor*

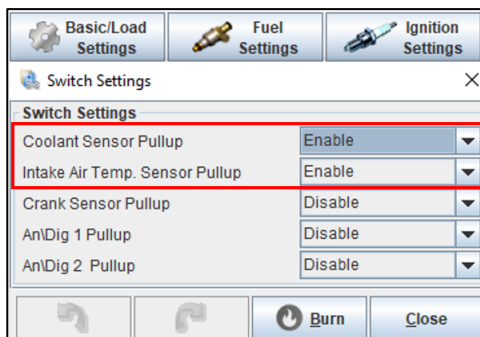


*Nota.* Condiciones para el giro del motor en diferentes condiciones de trabajo

La configuración de switches “Switch Settings” habilitamos los sensores utilizados en nuestro caso sensor de temperatura del refrigerante “Coolant Sensor Pullup”) y sensor de temperatura de aire “Intake Air Temp. Sensor Pullup” marcamos como habilitados “Enable” y los sensores restantes de la los dejamos como inhabilitados.

**Figura 57**

*Configuración de Switchs*

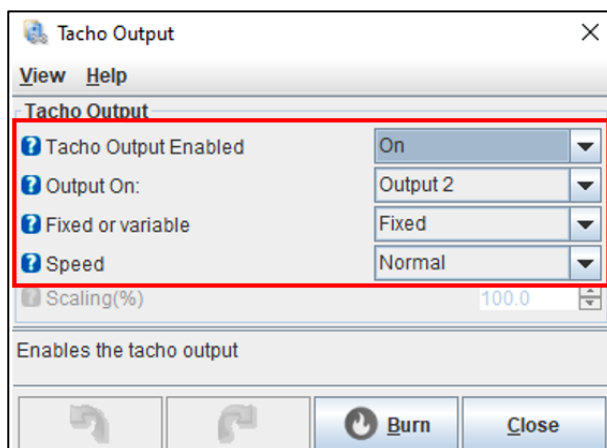


*Nota.* Configuración de sensores de temperatura de refrigerante y aire de la admisión como habilitados

La salida del tacómetro “Tacho Output” procedemos a configurar para su conexión al tacómetro original del vehículo en la opción “Taco Output Enable” marcamos como encendida “On” y asignamos una salida “Output On” para su conexión en “Output 2”.

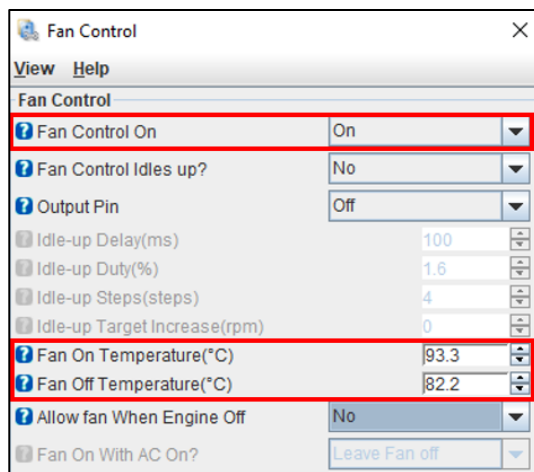
### Figura 58

*Salida del Tacómetro*



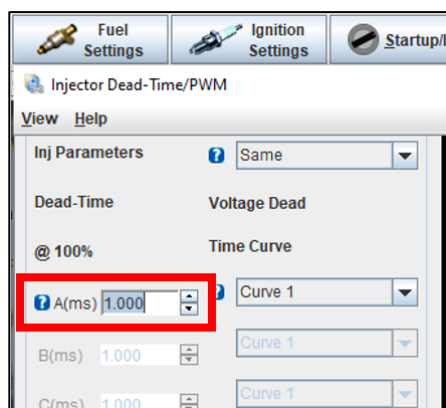
*Nota.* Activación de la salida del tacómetro y habilitación de salida para conexión

En el caso que se disponga en el vehículo de un electroventilador en las configuraciones básicas en la opción “Fan Controler” configuramos como encendida “On” y en los apartados de “Fan On Temperature (°C)” y “Fan Off Temperature (°C)” ingresamos las temperaturas a las que el electroventilador se encendería y apagaría, además se indicara si se desea que el electroventilador siga funcionando una vez el motor se apaga en la opción “Allow fan When Engine Off”

**Figura 59***Control del electroventilador*

*Nota.* Activación de encendido del electroventilador, selección de temperatura a la que se activa y temperatura a la que se desactiva

Fuel Settings. Para la configuración inicial de combustible se detallará un único parámetro el cual es el tiempo muerto del inyector “Injector Dead-Time/PWM”, esto se define como cantidad de tiempo que tarda en enviar la computadora programable a los inyectores y esta supere la resistencia del resorte de cierre del inyector, este tiempo de retardo varía entre 0,9 ms a 1 ms y puede representar una parte significativa del ancho de pulso inactivo.

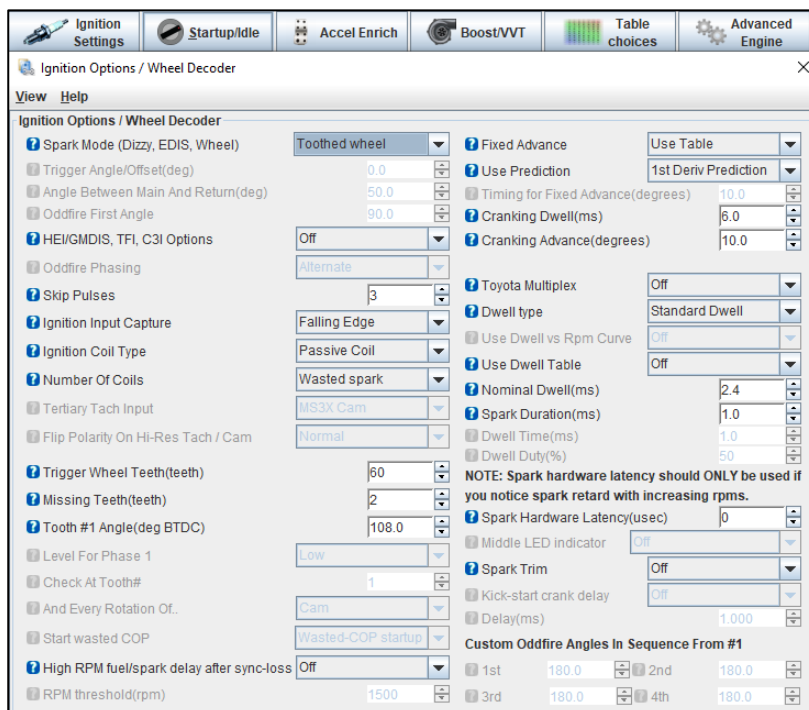
**Figura 60***Tiempo muerto del inyector*

*Nota.* Corrección del tiempo de accionamiento del ancho de pulso de inyector

Ignition Settings. En este apartado de la programación será los más vital para el encendido del motor, nos indicara si el sensor de fase va a ser utilizado, los diferentes tipos de sensor, en esta ventana de opciones se deberá detallar ya que por este medio informaremos a la computadora programable como se controlará la inyección y la ignición de forma secuencia, además si la inyección será semi-secuencial.

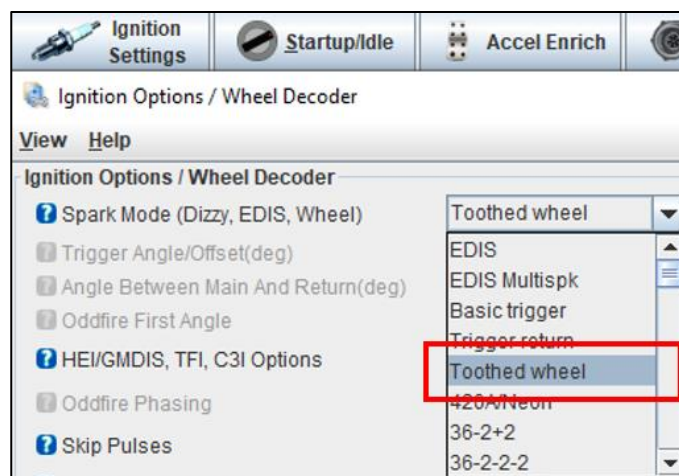
**Figura 61**

*Opciones de ignición*



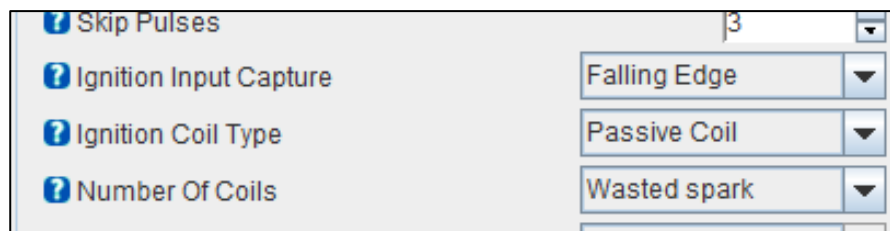
*Nota.* Configuración de las opciones de ignición, selección del sistema de chispa, Tipo de bobinas y numero de bobinas.

En las opciones de ignición de este apartado se definira el tipo de lectura "Spark Mode (Dizzy, Edies, Whell)" como es la opción de rueda dentada, por este medio la computadora programable recibirá la señal de la posición del cigüeñal y esta debe actuar en consecuencia sobre el encendido.

**Figura 62***Opciones de ignición*

*Nota.* Configuración método de lectura del posicionamiento del cigüeñal, definición del tipo utilizado y selección de elemento que informara a la computadora de la posición del cigüeñal.

Se define el tipo de lectura del posicionamiento del cigüeñal, el módulo leerá la señal del sensor CKP estas pueden ser en la parte superior de la rueda fónica “Subida o Fallig Edge” o en la parte inferior de la rueda fónica “Descenso o Risisng Edge”, además se seleccionará el tipo de bobinas utilizadas que pueden ser bobinas pasivas o bobinas activas, una vez apartado el tipo de bobina se configurara el modo de ignición como chispa perdida

**Figura 63***Sensor de rotación y tipo de bobina*

*Nota.* Opciones de lectura del sensor de posicionamiento del cigüeñal, tipo y numero de bobinas de la ignición.

La configuración de la rueda fónica se ajusta la cantidad de dientes, así como también los dientes perdidos, acorde al seleccionado en elementos para la instalación de nuestro sistema de inyección, además indicaremos el ángulo de posicionamiento de la fase de la rueda fónica.

### Figura 64

#### Configuración Rueda Fónica

|   |                            |       |        |
|---|----------------------------|-------|--------|
| ? | Trigger Wheel Teeth(teeth) | 60    | ▲<br>▼ |
| ? | Missing Teeth(teeth)       | 2     | ▲<br>▼ |
| ? | Tooth #1 Angle(deg BTDC)   | 108.0 | ▲<br>▼ |

*Nota.* Definirá el tipo de rueda fónica para la lectura de posicionamiento del cigüeñal y puesta a punto del motor

- Para indicar la posición exacta de los dientes perdidos de nuestro sensor es necesario realizar el siguiente procedimiento:
- Colocar el pistón nuero uno en el punto muerto superior en la fase de compresión.
- En sentido antihorario contar el número de dientes desde los faltantes hasta la parte superior del diente alineado con el sensor CKP
- Una vez conocido el número de dientes calcular el ángulo entre los dientes perdidos del cigüeñal y el sensor CKP
- Una vez calculado el ángulo colocar en el apartado del ángulo de diente “Tooth #1 Angle (deg BTDC)”

**Figura 65**

*Posición de sensor de posicionamiento del cigüeñal*

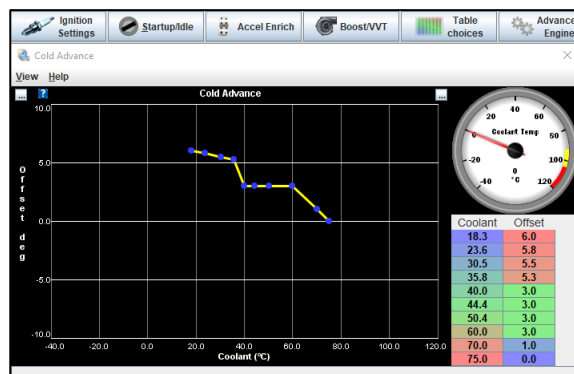


*Nota.* Angulo de posicionamiento del sensor de posición cuando el cilindro número uno se enciente el punto muerto superior en la fase de compresión.

El control de avance al encendido en frio se configura dependiendo del clima donde funcione el vehículo, en este caso se configura desde temperaturas de 18° centígrados con avances al encendido del motor con 6 grados hasta que llega a la temperatura de funcionamiento alrededor de 75° Centígrados el avance que se adicionará al del funcionamiento normal será 0.

**Figura 66**

*Avance en frio*



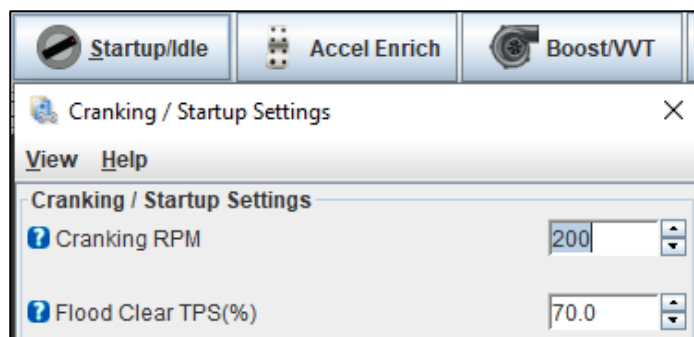
*Nota.* Es la curva de avance al encendido durante el funcionamiento del motor.

Startup/idle. La configuración de puesta en marcha detallaremos los diferentes parámetros para su puesta en marcha, encendido en frío y restricciones para su funcionamiento.

Para el arranque del motor detallamos las revoluciones mínimas para el encendido del motor como son de 200 RPM además un método de protección es condicionar que el ángulo de posicionamiento de la mariposa de nuestros ITVs no debe superar el 70% para encender nuestro motor caso contrario no entrara en funcionamiento.

### Figura 67

*Arranque del motor*



*Nota.* Condiciones para arranque y encendido del motor, restricción para el encendido del motor.

El control del porcentaje de combustible inyectado al momento de arrancar en frío la mayoría de los motores necesitan hasta un 200% cuando están fríos y el 100% cuando están calientes. Por lo que se debe configurar este porcentaje en relación a la temperatura del motor es así como se detalla en la figura que a temperaturas de 22 grados centígrados el porcentaje de combustible inyectado es del 198 por ciento enriqueciendo la mezcla y cuando alcanza una temperatura de 51 grado Celsius el porcentaje desciende hasta el 102 por ciento.





La combinación de régimen de giro del motor y la carga del colector de la admisión le informa a la computadora programable sobre lo que se le pide al motor que haga en base a zonas de trabajo de la tabla en ciertas condiciones. Por lo que se divide el mapa en base a zonas de trabajo y se detalla lo que sucede en cada una de ellas.

**Figura 70**

*Zonas de Trabajo*

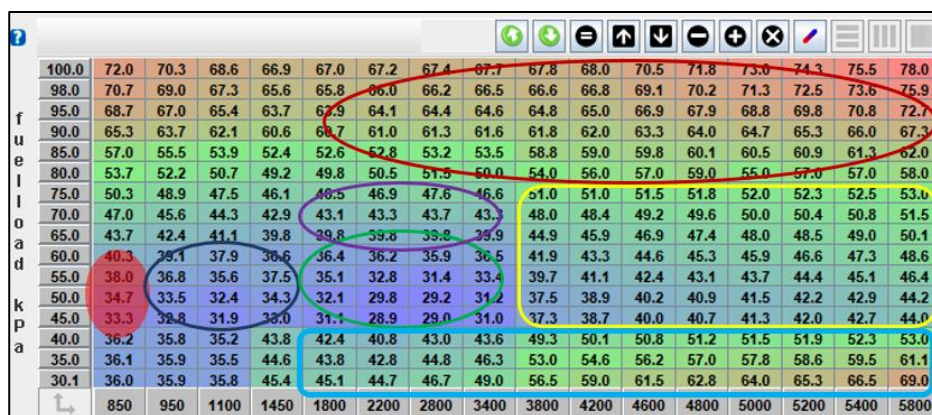
|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100.0 | 72.0 | 70.3 | 68.6 | 66.9 | 67.0 | 67.2 | 67.4 | 67.7 | 67.8 | 68.0 | 70.5 | 71.8 | 73.0 | 74.3 | 75.5 | 78.0 |
| 98.0  | 70.7 | 69.0 | 67.3 | 65.6 | 65.8 | 66.0 | 66.2 | 66.5 | 66.6 | 66.8 | 69.1 | 70.2 | 71.3 | 72.5 | 73.6 | 75.9 |
| 95.0  | 68.7 | 67.0 | 65.4 | 63.7 | 63.9 | 64.1 | 64.4 | 64.6 | 64.8 | 65.0 | 66.9 | 67.9 | 68.8 | 69.8 | 70.8 | 72.7 |
| 90.0  | 65.3 | 63.7 | 62.1 | 60.6 | 60.7 | 61.0 | 61.3 | 61.6 | 61.8 | 62.0 | 63.3 | 64.0 | 64.7 | 65.3 | 66.0 | 67.3 |
| 85.0  | 57.0 | 55.5 | 53.9 | 52.4 | 52.6 | 52.8 | 53.2 | 53.5 | 53.8 | 54.0 | 55.0 | 55.0 | 55.0 | 57.0 | 57.0 | 58.0 |
| 80.0  | 53.7 | 52.2 | 50.7 | 49.2 | 49.8 | 50.5 | 51.5 | 52.0 | 52.0 | 52.0 | 53.0 | 53.0 | 53.0 | 55.0 | 55.0 | 56.0 |
| 75.0  | 50.3 | 48.9 | 47.5 | 46.1 | 46.5 | 46.9 | 47.6 | 48.6 | 49.0 | 49.0 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 51.0 | 51.0 | 52.0 |
| 70.0  | 47.0 | 45.6 | 44.3 | 42.9 | 43.1 | 43.3 | 43.7 | 43.7 | 44.0 | 44.0 | 45.0 | 45.0 | 45.0 | 46.0 | 46.0 | 47.0 |
| 65.0  | 43.7 | 42.4 | 41.1 | 39.8 | 39.8 | 39.8 | 39.8 | 39.9 | 40.0 | 40.0 | 41.0 | 41.0 | 41.0 | 42.0 | 42.0 | 43.0 |
| 60.0  | 40.3 | 39.1 | 37.9 | 36.6 | 36.4 | 36.2 | 35.9 | 36.5 | 36.5 | 37.0 | 37.0 | 37.0 | 37.0 | 38.0 | 38.0 | 39.0 |
| 55.0  | 38.0 | 36.8 | 35.6 | 37.5 | 35.1 | 32.8 | 31.4 | 33.4 | 39.7 | 41.1 | 42.4 | 43.1 | 43.7 | 44.4 | 45.1 | 46.4 |
| 50.0  | 34.7 | 33.5 | 32.4 | 34.3 | 32.1 | 29.8 | 29.2 | 31.2 | 37.5 | 38.9 | 40.2 | 40.9 | 41.5 | 42.2 | 42.9 | 44.2 |
| 45.0  | 33.3 | 32.8 | 31.9 | 38.0 | 31.1 | 28.9 | 29.0 | 31.0 | 37.3 | 38.7 | 40.0 | 40.7 | 41.3 | 42.0 | 42.7 | 44.0 |
| 40.0  | 36.2 | 35.8 | 35.2 | 43.8 | 42.4 | 40.8 | 43.0 | 43.6 | 49.3 | 50.1 | 50.8 | 51.2 | 51.5 | 51.9 | 52.3 | 53.0 |
| 35.0  | 36.1 | 35.9 | 35.5 | 44.6 | 43.8 | 42.8 | 44.8 | 46.3 | 53.0 | 54.6 | 56.2 | 57.0 | 57.8 | 58.6 | 59.5 | 61.1 |
| 30.1  | 36.0 | 35.9 | 35.8 | 45.4 | 45.1 | 44.7 | 46.7 | 49.0 | 56.5 | 59.0 | 61.5 | 62.8 | 64.0 | 65.3 | 66.5 | 69.0 |
|       | 850  | 950  | 1100 | 1450 | 1800 | 2200 | 2800 | 3400 | 3800 | 4200 | 4600 | 4800 | 5000 | 5200 | 5400 | 5800 |

*Nota.* Rojo: Zona de Trabajo 1, Azul: Zona de Trabajo 2, Verde; Zona de trabajo 3, Morado: Zona de trabajo 4, Amarillo: Zona de Trabajo 5, Marrón: Zona de Trabajo 6, Celeste: Zona de trabajo 7

En la primera zona es el apartado cuando el vehículo se encuentra en el estado de ralentí y el giro del motor es el más bajo y un punto donde la mayoría de los motores pasan una gran cantidad de tiempo, además en esta zona la carga del motor puede varias ligeramente cuando se activan ciertos accesorios como luces o la dirección asistida.

**Figura 71**

*Primera zona de trabajo*

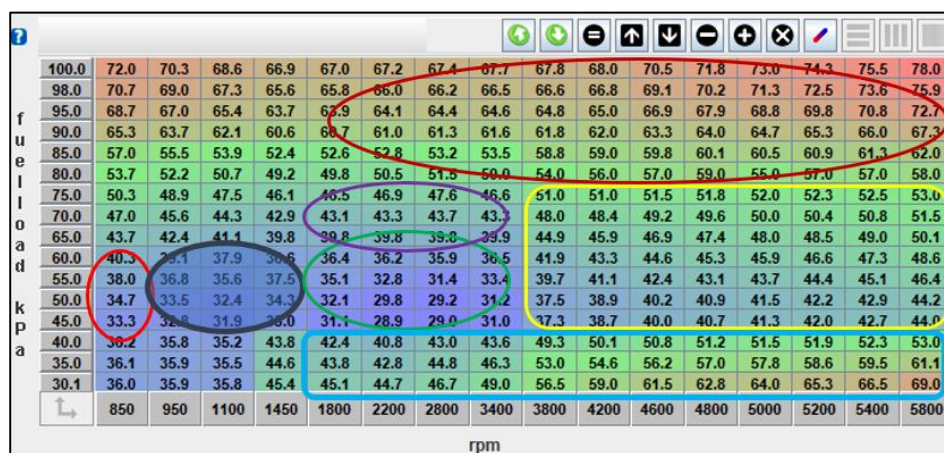


*Nota.* Rango de funcionamiento de ralenti del motor, acelerador sin accionar, giro y carga del motor mínimas.

La zona de trabajo 2 es la segunda condición de manejo de las personas debido a que es una zona transitoria hacia la zona 3 o 4, el porcentaje de combustible inyectado será importante en esta zona ya que en esta zona deberá proporcionar la máxima respuesta al torque cuando el conductor este en esta zona de transición.

**Figura 72**

*Segunda zona de trabajo*



*Nota.* Zona de trabajo de transición, requiere de un porcentaje de mezcla adecuada y así obtener como resultado una rápida respuesta al torque para las siguientes zonas de trabajo.





Figura 74

## Zonas de Trabajo 4

|   | 850   | 950  | 1100 | 1450 | 1800 | 2200 | 2800 | 3400 | 3800 | 4200 | 4600 | 4800 | 5000 | 5200 | 5400 | 5800 |      |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f | 100.0 | 72.0 | 70.3 | 68.6 | 66.9 | 67.0 | 67.2 | 67.4 | 67.7 | 67.8 | 68.0 | 70.5 | 71.8 | 73.0 | 74.3 | 75.5 | 78.0 |
| u | 98.0  | 70.7 | 69.0 | 67.3 | 65.6 | 65.8 | 66.0 | 66.2 | 66.5 | 66.6 | 66.8 | 69.1 | 70.2 | 71.3 | 72.5 | 73.6 | 75.9 |
| e | 95.0  | 68.7 | 67.0 | 65.4 | 63.7 | 63.9 | 64.1 | 64.4 | 64.6 | 64.8 | 65.0 | 66.9 | 67.9 | 68.8 | 69.8 | 70.8 | 72.7 |
| l | 90.0  | 65.3 | 63.7 | 62.1 | 60.6 | 60.7 | 61.0 | 61.3 | 61.6 | 61.8 | 62.0 | 63.3 | 64.0 | 64.7 | 65.3 | 66.0 | 67.3 |
| i | 85.0  | 57.0 | 55.5 | 53.9 | 52.4 | 52.6 | 52.8 | 53.2 | 53.5 | 58.8 | 59.0 | 59.8 | 60.1 | 60.5 | 60.9 | 61.3 | 62.0 |
| o | 80.0  | 53.7 | 52.2 | 50.7 | 49.2 | 49.8 | 50.5 | 51.5 | 50.0 | 54.0 | 56.0 | 57.0 | 59.0 | 55.0 | 57.0 | 57.0 | 58.0 |
| a | 75.0  | 50.3 | 48.9 | 47.5 | 46.1 | 46.5 | 46.9 | 47.6 | 46.6 | 51.0 | 51.0 | 51.5 | 51.8 | 52.0 | 52.3 | 52.5 | 53.0 |
| d | 70.0  | 47.0 | 45.6 | 44.3 | 42.9 | 43.1 | 43.3 | 43.7 | 43.3 | 48.0 | 48.4 | 49.2 | 49.6 | 50.0 | 50.4 | 50.8 | 51.5 |
| k | 65.0  | 43.7 | 42.4 | 41.1 | 39.8 | 39.8 | 39.6 | 39.8 | 39.9 | 44.9 | 45.9 | 46.9 | 47.4 | 48.0 | 48.5 | 49.0 | 50.1 |
| p | 60.0  | 40.3 | 39.1 | 37.9 | 36.6 | 36.4 | 36.2 | 35.9 | 36.5 | 41.9 | 43.3 | 44.6 | 45.3 | 45.9 | 46.6 | 47.3 | 48.6 |
| a | 55.0  | 38.0 | 36.8 | 35.6 | 37.5 | 35.1 | 32.8 | 31.4 | 33.4 | 39.7 | 41.1 | 42.4 | 43.1 | 43.7 | 44.4 | 45.1 | 46.4 |
|   | 50.0  | 34.7 | 33.5 | 32.4 | 34.3 | 32.1 | 29.8 | 29.2 | 31.2 | 37.5 | 38.9 | 40.2 | 40.9 | 41.5 | 42.2 | 42.9 | 44.2 |
|   | 45.0  | 33.3 | 32.8 | 31.9 | 33.0 | 31.1 | 28.9 | 29.0 | 31.0 | 37.3 | 38.7 | 40.0 | 40.7 | 41.3 | 42.0 | 42.7 | 44.0 |
|   | 40.0  | 30.2 | 35.8 | 35.2 | 43.8 | 42.4 | 40.8 | 43.0 | 43.6 | 49.3 | 50.1 | 50.8 | 51.2 | 51.5 | 51.9 | 52.3 | 53.0 |
|   | 35.0  | 36.1 | 35.9 | 35.5 | 44.6 | 43.8 | 42.8 | 44.8 | 46.3 | 53.0 | 54.6 | 56.2 | 57.0 | 57.8 | 58.6 | 59.5 | 61.1 |
|   | 30.1  | 36.0 | 35.9 | 35.8 | 45.4 | 45.1 | 44.7 | 46.7 | 49.0 | 56.5 | 59.0 | 61.5 | 62.8 | 64.0 | 65.3 | 66.5 | 69.0 |

Nota. Zona de trabajo con carga moderada y aceleración moderada en pendientes constantes.

La zona de trabajo 5 es donde el conductor se encontrará la menor cantidad de tiempo en caso de requerir la potencia máxima, generalmente en esta zona se encuentran los corredores de carreras ya que utilizan para realizar cambios descendentes haciendo que el motor gire en un régimen alto o también se da cuando el conductor maneja en marchas bajas durante un largo tiempo. Estas condiciones de manejo pueden contribuir a unas elevadas temperaturas de los componentes.

Figura 75

## Zonas de Trabajo 5

|   | 850   | 950  | 1100 | 1450 | 1800 | 2200 | 2800 | 3400 | 3800 | 4200 | 4600 | 4800 | 5000 | 5200 | 5400 | 5800 |      |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f | 100.0 | 72.0 | 70.3 | 68.6 | 66.9 | 67.0 | 67.2 | 67.4 | 67.7 | 67.8 | 68.0 | 70.5 | 71.8 | 73.0 | 74.3 | 75.5 | 78.0 |
| u | 98.0  | 70.7 | 69.0 | 67.3 | 65.6 | 65.8 | 66.0 | 66.2 | 66.5 | 66.6 | 66.8 | 69.1 | 70.2 | 71.3 | 72.5 | 73.6 | 75.9 |
| e | 95.0  | 68.7 | 67.0 | 65.4 | 63.7 | 63.9 | 64.1 | 64.4 | 64.6 | 64.8 | 65.0 | 66.9 | 67.9 | 68.8 | 69.8 | 70.8 | 72.7 |
| l | 90.0  | 65.3 | 63.7 | 62.1 | 60.6 | 60.7 | 61.0 | 61.3 | 61.6 | 61.8 | 62.0 | 63.3 | 64.0 | 64.7 | 65.3 | 66.0 | 67.3 |
| i | 85.0  | 57.0 | 55.5 | 53.9 | 52.4 | 52.6 | 52.8 | 53.2 | 53.5 | 58.8 | 59.0 | 59.8 | 60.1 | 60.5 | 60.9 | 61.3 | 62.0 |
| o | 80.0  | 53.7 | 52.2 | 50.7 | 49.2 | 49.8 | 50.5 | 51.5 | 50.0 | 54.0 | 56.0 | 57.0 | 59.0 | 55.0 | 57.0 | 57.0 | 58.0 |
| a | 75.0  | 50.3 | 48.9 | 47.5 | 46.1 | 46.5 | 46.9 | 47.6 | 46.6 | 51.0 | 51.0 | 51.5 | 51.8 | 52.0 | 52.3 | 52.5 | 53.0 |
| d | 70.0  | 47.0 | 45.6 | 44.3 | 42.9 | 43.1 | 43.3 | 43.7 | 43.3 | 48.0 | 48.4 | 49.2 | 49.6 | 50.0 | 50.4 | 50.8 | 51.5 |
| k | 65.0  | 43.7 | 42.4 | 41.1 | 39.8 | 39.8 | 39.6 | 39.8 | 39.9 | 44.9 | 45.9 | 46.9 | 47.4 | 48.0 | 48.5 | 49.0 | 50.1 |
| p | 60.0  | 40.3 | 39.1 | 37.9 | 36.6 | 36.4 | 36.2 | 35.9 | 36.5 | 41.9 | 43.3 | 44.6 | 45.3 | 45.9 | 46.6 | 47.3 | 48.6 |
| a | 55.0  | 38.0 | 36.8 | 35.6 | 37.5 | 35.1 | 32.8 | 31.4 | 33.4 | 39.7 | 41.1 | 42.4 | 43.1 | 43.7 | 44.4 | 45.1 | 46.4 |
|   | 50.0  | 34.7 | 33.5 | 32.4 | 34.3 | 32.1 | 29.8 | 29.2 | 31.2 | 37.5 | 38.9 | 40.2 | 40.9 | 41.5 | 42.2 | 42.9 | 44.2 |
|   | 45.0  | 33.3 | 32.8 | 31.9 | 33.0 | 31.1 | 28.9 | 29.0 | 31.0 | 37.3 | 38.7 | 40.0 | 40.7 | 41.3 | 42.0 | 42.7 | 44.0 |
|   | 40.0  | 30.2 | 35.8 | 35.2 | 43.8 | 42.4 | 40.8 | 43.0 | 43.6 | 49.3 | 50.1 | 50.8 | 51.2 | 51.5 | 51.9 | 52.3 | 53.0 |
|   | 35.0  | 36.1 | 35.9 | 35.5 | 44.6 | 43.8 | 42.8 | 44.8 | 46.3 | 53.0 | 54.6 | 56.2 | 57.0 | 57.8 | 58.6 | 59.5 | 61.1 |
|   | 30.1  | 36.0 | 35.9 | 35.8 | 45.4 | 45.1 | 44.7 | 46.7 | 49.0 | 56.5 | 59.0 | 61.5 | 62.8 | 64.0 | 65.3 | 66.5 | 69.0 |

Nota. Zona de trabajo de régimen de giro del motor elevado y cargas ligeras, las elevadas temperaturas en los componentes serán de vital importancia prestar atención.

La sexta zona de trabajo en un motor por aspiración cuando la mariposa de los ITVs esté completamente accionada la presión en el colector de admisión no superaran los 75KPa esto se da por restricciones en las tuberías y filtros de aire en el sistema de admisión, además en zonas más altas al nivel del mar la presión se irá reduciendo.

**Figura 76**

*Zonas de Trabajo 6*

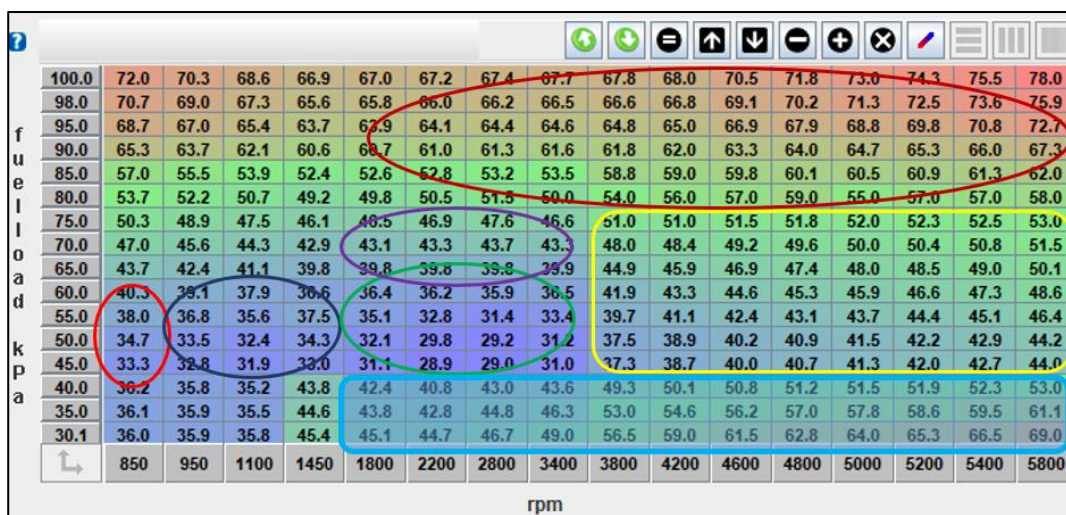
| Altitud (m) | 850  | 950  | 1100 | 1450 | 1800 | 2200 | 2800 | 3400 | 3800 | 4200 | 4600 | 4800 | 5000 | 5200 | 5400 | 5800 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 100.0       | 72.0 | 70.3 | 68.6 | 66.9 | 67.0 | 67.2 | 67.4 | 67.7 | 67.8 | 68.0 | 70.5 | 71.8 | 73.0 | 74.2 | 75.5 | 78.0 |
| 98.0        | 70.7 | 69.0 | 67.3 | 65.6 | 65.8 | 66.0 | 66.2 | 66.5 | 66.6 | 66.8 | 69.1 | 70.2 | 71.3 | 72.5 | 73.6 | 75.9 |
| 95.0        | 68.7 | 67.0 | 65.4 | 63.7 | 63.9 | 64.1 | 64.4 | 64.6 | 64.8 | 65.0 | 66.9 | 67.9 | 68.8 | 69.8 | 70.8 | 72.1 |
| 90.0        | 65.3 | 63.7 | 62.1 | 60.6 | 60.7 | 61.0 | 61.3 | 61.6 | 61.8 | 62.0 | 63.3 | 64.0 | 64.7 | 65.3 | 66.0 | 67.3 |
| 85.0        | 57.0 | 55.5 | 53.9 | 52.4 | 52.6 | 52.8 | 53.2 | 53.5 | 53.8 | 54.0 | 55.8 | 59.0 | 59.8 | 60.1 | 60.5 | 62.0 |
| 80.0        | 53.7 | 52.2 | 50.7 | 49.2 | 49.8 | 50.5 | 51.0 | 51.5 | 52.0 | 52.5 | 54.0 | 57.0 | 59.0 | 59.0 | 59.0 | 58.0 |
| 75.0        | 50.3 | 48.9 | 47.5 | 46.1 | 46.5 | 46.9 | 47.6 | 48.0 | 48.0 | 48.0 | 51.0 | 51.0 | 51.5 | 51.8 | 52.0 | 53.0 |
| 70.0        | 47.0 | 45.6 | 44.3 | 42.9 | 43.1 | 43.3 | 43.7 | 43.9 | 44.0 | 44.0 | 48.0 | 48.4 | 49.2 | 49.6 | 50.0 | 51.5 |
| 65.0        | 43.7 | 42.4 | 41.1 | 39.8 | 39.8 | 39.8 | 39.8 | 39.9 | 40.0 | 40.0 | 44.9 | 45.9 | 46.9 | 47.4 | 48.0 | 50.1 |
| 60.0        | 40.3 | 39.1 | 37.9 | 36.6 | 36.4 | 36.2 | 35.9 | 36.5 | 36.5 | 36.5 | 41.9 | 43.3 | 44.6 | 45.3 | 45.9 | 48.6 |
| 55.0        | 38.0 | 36.8 | 35.6 | 34.5 | 35.1 | 32.8 | 31.4 | 33.4 | 33.4 | 33.4 | 39.7 | 41.1 | 42.4 | 43.1 | 43.7 | 46.4 |
| 50.0        | 34.7 | 33.5 | 32.4 | 34.3 | 32.1 | 29.8 | 29.2 | 31.2 | 31.2 | 31.2 | 37.5 | 38.9 | 40.2 | 40.9 | 41.5 | 44.2 |
| 45.0        | 33.3 | 32.8 | 31.9 | 30.0 | 31.1 | 28.9 | 29.0 | 31.0 | 31.0 | 31.0 | 37.3 | 38.7 | 40.0 | 40.7 | 41.3 | 44.0 |
| 40.0        | 36.2 | 35.8 | 35.2 | 43.8 | 42.4 | 40.8 | 43.0 | 43.6 | 43.6 | 43.6 | 49.3 | 50.1 | 50.8 | 51.2 | 51.5 | 53.0 |
| 35.0        | 36.1 | 35.9 | 35.5 | 44.6 | 43.8 | 42.8 | 44.8 | 46.3 | 46.3 | 46.3 | 53.0 | 54.6 | 56.2 | 57.0 | 57.8 | 61.1 |
| 30.1        | 36.0 | 35.9 | 35.8 | 45.4 | 45.1 | 44.7 | 46.7 | 49.0 | 49.0 | 49.0 | 56.5 | 59.0 | 61.5 | 62.8 | 64.0 | 69.0 |

*Nota.* Rangos de parámetros para el funcionamiento del motor

Esta séptima zona se llega en cada momento cuando se cierra de manera rápida y completa la mariposa de los ITVs, al entrar en esta zona obtenemos una carga negativa para el motor, en esta área el combustible debe ser mínimo, además el motor normalmente recorre esta zona con bastante rapidez al realizar cambios de marchas y el avance al encendido no necesariamente debe ser tan alto para no generar detonaciones tempranas en los cilindros de combustión.

Figura 77

## Zonas de Trabajo 8



*Nota.* Representa una desaceleración con freno motor, cambios de marcha y en esta área se emplea una carga de combustible bajo.

### Desarrollo de pruebas con el sistema de alimentación optimizado

#### *Pruebas de ruta con el sistema de alimentación de inyección electrónica*

Para realizar las pruebas de ruta se tomó las mismas consideraciones y parámetros, los instrumentos utilizados para la adquisición de datos son iguales a las primeras pruebas, cuando el sistema de alimentación fue a carburador.

Tabla 14

*Resultados en ruta 1 con sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro              | Día 1   | Día 2   | Día 3   | Día 4   | Día 5   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Volumen inicial (L)    | 3,37    | 4       | 3,9     | 3,95    | 3,9     |
| Volumen final (L)      | 1,41    | 2,04    | 2       | 1,98    | 1,99    |
| Distancia (km)         | 15,03   | 15,01   | 14,99   | 15,04   | 15,07   |
| Tiempo                 | 0:14:38 | 0:13:13 | 0:14:16 | 0:13:56 | 0:19:16 |
| Velocidad media (km/h) | 61      | 68      | 63      | 64      | 46      |

*Nota.* Datos obtenidos con las aplicaciones Velocímetro GPS y RaceChrono.

- Cálculo del volumen consumido en la ruta 1 el día 1.

$$V_c = 3,37 - 1,41$$

$$V_c = 1,96 L$$

- Cálculo de rendimiento en la ruta 1 el día 1.

$$R = \frac{15,03}{1,96}$$

$$R = 7,67 km/L$$

$$R = 29,02 km/gal$$

**Tabla 15**

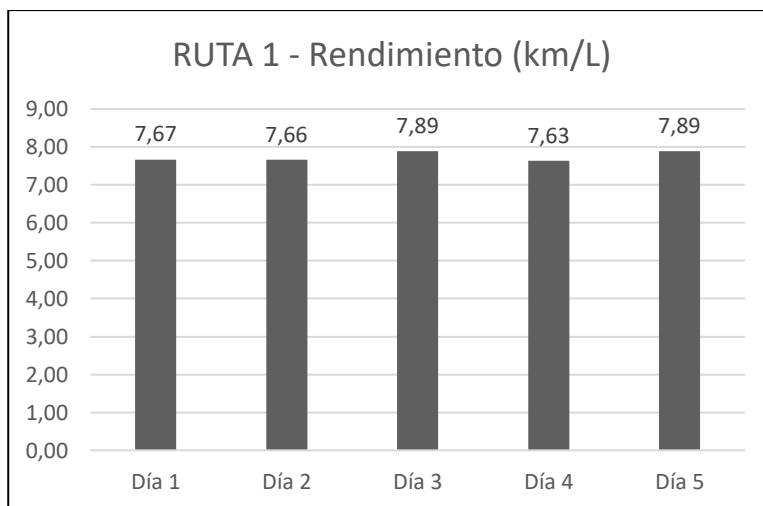
*Consumo en ruta 1 con sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro             | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen consumido (L) | 1,96  | 1,96  | 1,90  | 1,97  | 1,91  |
| Rendimiento (km/L)    | 7,67  | 7,66  | 7,89  | 7,63  | 7,89  |
| Rendimiento (km/gal)  | 29,02 | 28,99 | 29,86 | 28,90 | 29,86 |

*Nota.* Rendimiento en la ruta 1 con el sistema de alimentación a inyección electrónica.

**Figura 78**

*Rendimiento en ruta 1 con sistema de alimentación de inyección*



*Nota.* Diagrama gráfico del rendimiento de combustible en ruta 1 con el sistema de inyección electrónica.



- Cálculo del rendimiento promedio de combustible en ruta 1.

$$R_p = \frac{7,67 + 7,66 + 7,89 + 7,63 + 7,89}{5}$$

$$R_p = 7,75 \text{ km/L}$$

$$R_p = 29,33 \text{ km/gal}$$

**Tabla 16**

*Resultados en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro              | Día 1   | Día 2   | Día 3   | Día 4   | Día 5   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Volumen inicial (L)    | 4       | 4       | 3,96    | 3,9     | 4       |
| Volumen final (L)      | 2,03    | 2,06    | 2       | 2       | 2,05    |
| Distancia (km)         | 15,76   | 15,75   | 15,77   | 15,75   | 15,76   |
| Tiempo                 | 0:24:01 | 0:24:46 | 0:24:24 | 0:23:23 | 0:24:10 |
| Velocidad media (km/h) | 39      | 38      | 38      | 40      | 39      |

*Nota.* Datos obtenidos con las aplicaciones Velocímetro GPS y RaceChrono.

**Tabla 17**

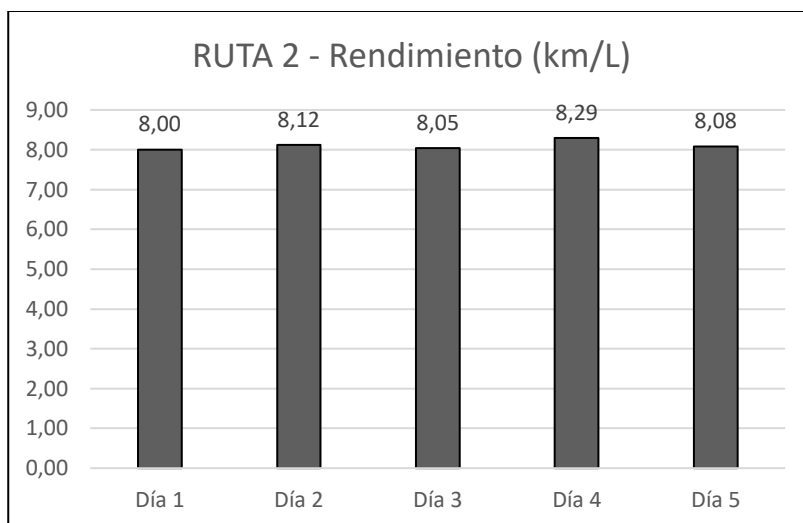
*Consumo en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro             | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen consumido (L) | 1,97  | 1,94  | 1,96  | 1,90  | 1,95  |
| Rendimiento (km/L)    | 8,00  | 8,12  | 8,05  | 8,29  | 8,08  |
| Rendimiento (km/gal)  | 30,28 | 30,73 | 30,45 | 31,38 | 30,59 |

*Nota.* Rendimiento en la ruta 2 con el sistema de alimentación a inyección electrónica.

**Figura 79**

*Rendimiento en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección*



*Nota.* Diagrama gráfico del rendimiento de combustible en ruta 2 con el sistema de inyección electrónica.

- Cálculo del rendimiento promedio de combustible en ruta 2.

$$R_p = \frac{8,00 + 8,12 + 8,05 + 8,29 + 8,08}{5}$$

$$R_p = 8,11 \text{ km/L}$$

$$R_p = 30,69 \text{ km/gal}$$

**Tabla 18**

*Resultados en ruta 3 con sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro              | Día 1   | Día 2   | Día 3   | Día 4   | Día 5   |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Volumen inicial (L)    | 4       | 4       | 3,9     | 4       | 3,9     |
| Volumen final (L)      | 2,17    | 2,15    | 2,18    | 2,2     | 2,17    |
| Distancia (km)         | 14      | 14,01   | 14,01   | 14,02   | 14,01   |
| Tiempo                 | 0:23:29 | 0:24:13 | 0:23:04 | 0:24:23 | 0:25:18 |
| Velocidad media (km/h) | 35      | 34      | 36      | 34      | 33      |

*Nota.* Datos obtenidos con las aplicaciones Velocímetro GPS y RaceChrono.

**Tabla 19**

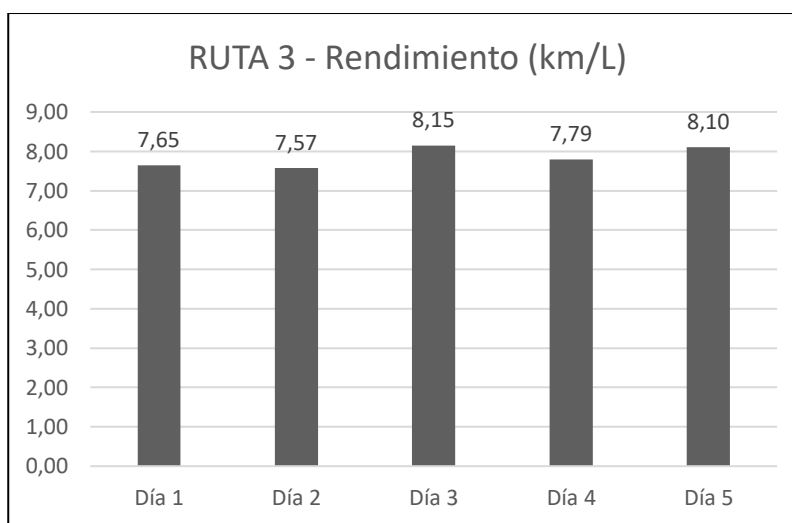
*Consumo en ruta 3 con sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro             | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen consumido (L) | 1,83  | 1,85  | 1,72  | 1,80  | 1,73  |
| Rendimiento (km/L)    | 7,65  | 7,57  | 8,15  | 7,79  | 8,10  |
| Rendimiento (km/gal)  | 28,96 | 28,66 | 30,83 | 29,48 | 30,65 |

*Nota.* Rendimiento en la ruta 3 con el sistema de alimentación a inyección electrónica.

**Figura 80**

*Rendimiento en ruta 2 con sistema de alimentación de inyección*



*Nota.* Diagrama gráfico del rendimiento de combustible en ruta 3 con el sistema de inyección electrónica.

- Cálculo del rendimiento promedio de combustible en ruta 3.

$$R_p = \frac{7,65 + 7,57 + 8,15 + 7,79 + 8,10}{5}$$

$$R_p = 7,85 \text{ km/L}$$

$$R_p = 29,72 \text{ km/gal}$$

**Tabla 20**

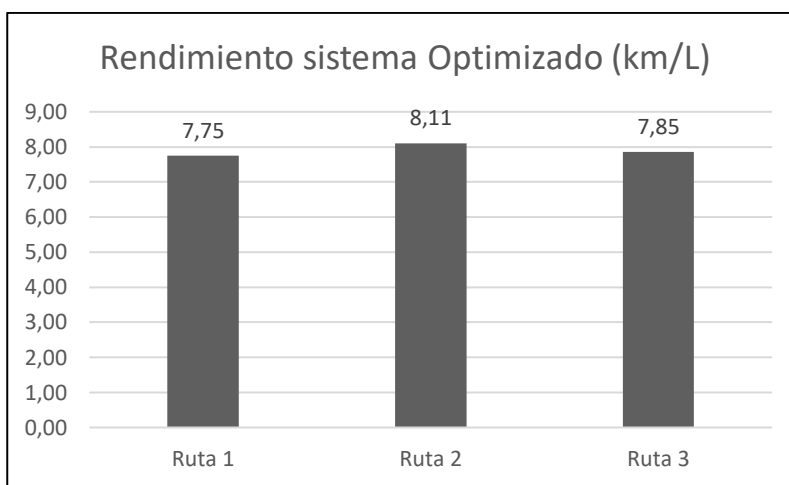
*Rendimiento promedio con el sistema de alimentación de inyección*

| Parámetro          | Ruta 1 | Ruta 2 | Ruta 3 |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Autonomía (km/L)   | 7,75   | 8,11   | 7,85   |
| Autonomía (km/gal) | 29,33  | 30,69  | 29,72  |

*Nota.* Rendimiento promedio del vehículo con sistema de alimentación de inyección electrónica.

**Figura 81**

*Rendimiento del motor con sistema de alimentación de inyección electrónica*



*Nota.* Diagrama gráfico comparativo del rendimiento del vehículo con el sistema de alimentación optimizado en las tres rutas.

### ***Prueba en banco dinamométrico con el sistema de admisión optimizado***

Una vez que se a optimizado el sistema de alimentación se procedió a evaluar la potencia y el par, de esta manera se puede evidenciar los resultados de la sustitución del sistema de admisión de carburador por inyección electrónica, la siguiente tabla muestra los valores obtenidos desde 2300 rpm hasta 4500 rpm separados entre 200 rpm, si se desea un rango mayor detalle de los resultados, estos se encuentran en la sección de anexos.

**Tabla 21**

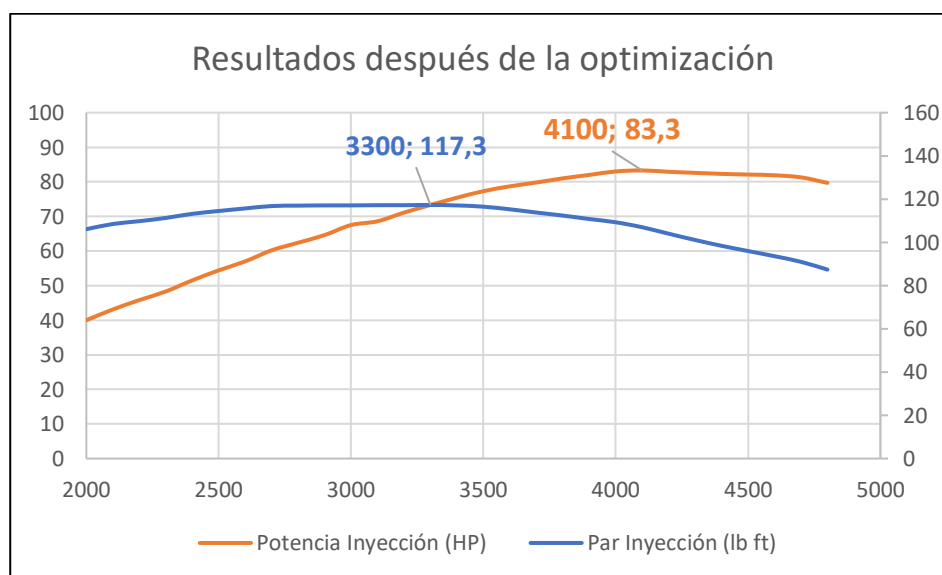
*Resultados del dinamómetro con el sistema de admisión optimizado*

| Velocidad de motor (rpm) | Par (lb ft) | Potencia (HP) |
|--------------------------|-------------|---------------|
| 2300                     | 111,3       | 48,3          |
| 2500                     | 114,5       | 54,4          |
| 2700                     | 116,8       | 60,2          |
| 2900                     | 117,1       | 64,6          |
| 3100                     | 117,2       | 68,6          |
| 3300                     | 117,3       | 73,3          |
| 3500                     | 116,5       | 77,3          |
| 3700                     | 113,8       | 79,8          |
| 3900                     | 110,8       | 82            |
| 4100                     | 107         | 83,3          |
| 4300                     | 101,1       | 82,6          |
| 4500                     | 96          | 82,1          |

*Nota.* Resultados obtenidos en el dinámometro a la temperatura de 25,3 °C y presión 727,5 HPa.

**Figura 82**

*Curvas características obtenidas en el dinamómetro después de la optimización*



*Nota.* Curvas características con potencia máxima de 83,3 Hp y par máximo de 115,3 lb ft.

### Curva de consumo específico

Para obtener la curva de consumo específico se procedió de la misma manera que el caso anterior.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el dinamómetro, el motor desarrolla un par de 111,3 *lb ft* a 2300 *rpm*, en estas mismas revoluciones le tomo 97 *segundos* consumir 0,1L, y utilizando la densidad de la gasolina extra de 0,72 *g/cm*<sup>3</sup> obtenemos lo siguiente.

- Potencia.

$$P = \frac{M * n * 0,1383}{716 * 1,0138}$$

$$P = \frac{(111,3 \text{ lb ft})(2300 \text{ rpm})(0,1383)}{716 * 1,0138}$$

$$P = 48,77 \text{ hp}$$

- Consumo específico

$$C_e = \frac{3,6 * 10^5 * d}{P * t}$$

$$C_e = \frac{3,6 * 10^5 * 0,72 \text{ g/cm}^3}{48,77 \text{ hp} * 97}$$

$$C_e = 54,79 \text{ g/hp h}$$

**Tabla 22**

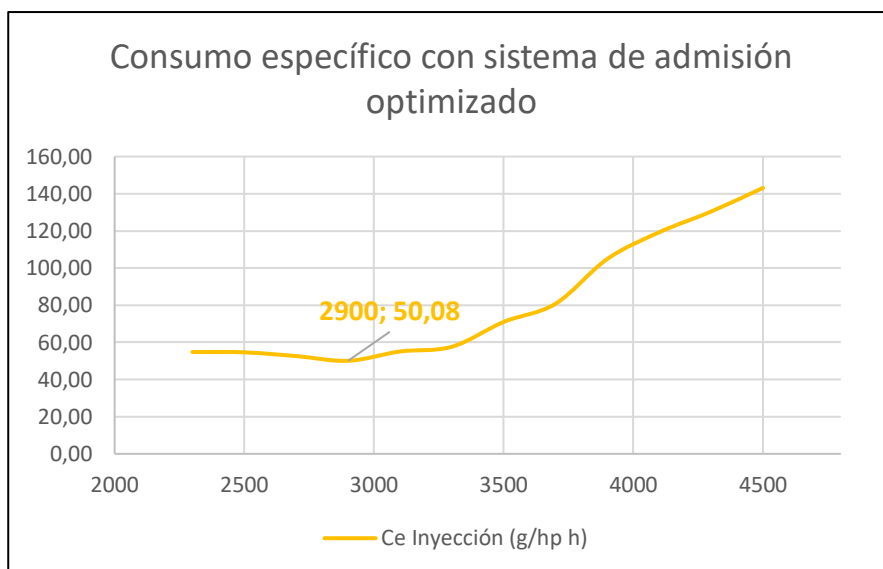
*Consumo específico para distintas revoluciones del motor con inyección*

| Velocidad de motor (rpm) | Par (lb ft) | P (hp) | Tiempo 0,1 L (seg) | Ce (g/hp h) |
|--------------------------|-------------|--------|--------------------|-------------|
| 2300                     | 111,3       | 48,77  | 97                 | 54,79       |
| 2500                     | 114,5       | 54,54  | 87                 | 54,63       |
| 2700                     | 116,8       | 60,08  | 82                 | 52,61       |
| 2900                     | 117,1       | 64,70  | 80                 | 50,08       |
| 3100                     | 117,2       | 69,22  | 68                 | 55,07       |
| 3300                     | 117,3       | 73,75  | 61                 | 57,62       |
| 3500                     | 116,5       | 77,69  | 47                 | 70,99       |

| Velocidad de motor (rpm) | Par (lb ft) | P (hp) | Tiempo 0,1 L (seg) | Ce (g/hp h) |
|--------------------------|-------------|--------|--------------------|-------------|
| 3700                     | 113,8       | 80,22  | 40                 | 80,77       |
| 3900                     | 110,8       | 82,33  | 30                 | 104,94      |
| 4100                     | 107         | 83,58  | 26                 | 119,27      |
| 4300                     | 101,1       | 82,83  | 24                 | 130,39      |
| 4500                     | 96          | 82,31  | 22                 | 143,14      |

**Figura 83**

*Consumo específico y par con sistema de inyección electrónica*



*Nota.* La gráfica de consumo específico con sistema de inyección electrónica muestra el mínimo valor de 50,08 g/hp h a 2900 rpm.

## Capítulo IV

### Análisis e interpretación de resultados

El rendimiento en cada una de las rutas tenía una variación alrededor de medio kilómetro, lo mismo sucede con el consumo de combustible en cada prueba, esto se debe a diferentes factores no controlables, como, el tráfico, el clima, obstáculos en la vía, y sobre todo que no se puede duplicar exactamente igual el estilo de manejo, es por esta razón que se tomó la decisión de realizar 5 pruebas en cada ruta, para minimizar dichos factores.

#### Sistema de alimentación de carburador

Durante el desarrollo de las pruebas de ruta con el vehículo táctico militar, se pudo evidenciar la falta de desarrollo del motor, era necesario disminuir un cambio para avanzar en una pendiente, a pesar de su cilindraje de 2300 *cc* era evidente su baja potencia, esto desencadenaba en constantes maniobras con los cambios de marcha dando como resultado un alto consumo de combustible.

Con el resultado obtenido en el dinamómetro se visualizó la potencia y par que entregaba el motor, de aquí se pudo establecer una referencia para empezar la optimización, se evidenció una entrega de potencia de 69 *hp* a 4300 *rpm* que junto al par de 106,3 *lb ft* a 3000 *rpm* nos permitió asumir que la curva de consumo específico, entonces el régimen de mínimo consumo podría estar cerca de las 3000 *rpm*.

Los valores encontrados del rendimiento, muestran a la ruta 1 con 6,34 *km/L* como el trayecto donde más se consume combustible, seguido de la ruta 2 con 5,09 *km/L*, luego la ruta 3 con 4,93 *km/L*, así mismo las velocidades promedio alcanzadas van de mayor a menor respectivamente, lo que nos deja claro el consumo de combustible crece con la velocidad, en la ruta 1 fue necesario ir a velocidades altas, la ruta 2 nos permitió velocidades medias y la ruta 3 por las irregularidades del camino bajas velocidades, lo mismo sucedió con las revoluciones del motor.



## Sistema de alimentación con inyección electrónica

Una vez realizada la optimización del sistema de alimentación, fue muy evidente el aumento de potencia, en comparación a lo anterior el vehículo podía circular con el mismo cambio que con en contra al sistema a carburador era necesario disminuir, de la misma manera no fue necesario pisar más el pedal del acelerador para transitar, y finalmente como se evidencia en los tiempos obtenidos hay una disminución.

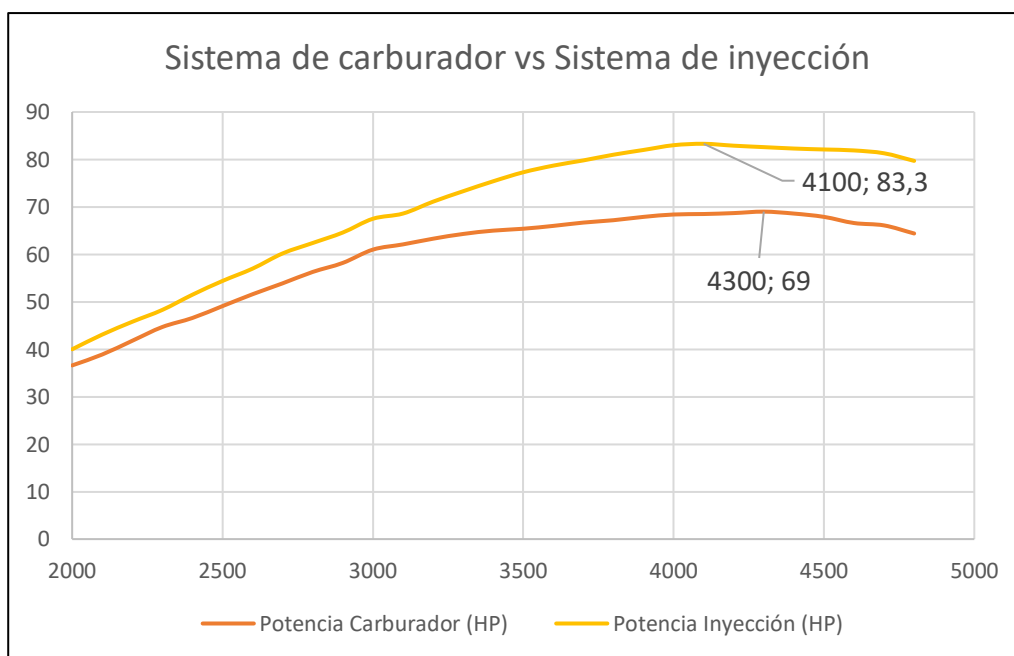
Con el resultado del dinamómetro se puede corroborar el aumento de potencia y par, los valores obtenidos son 83,3 *hp* a 4100 *rpm* y el par de 117,3 *lb ft* a 3300 *rpm*.

## Comparación de resultados

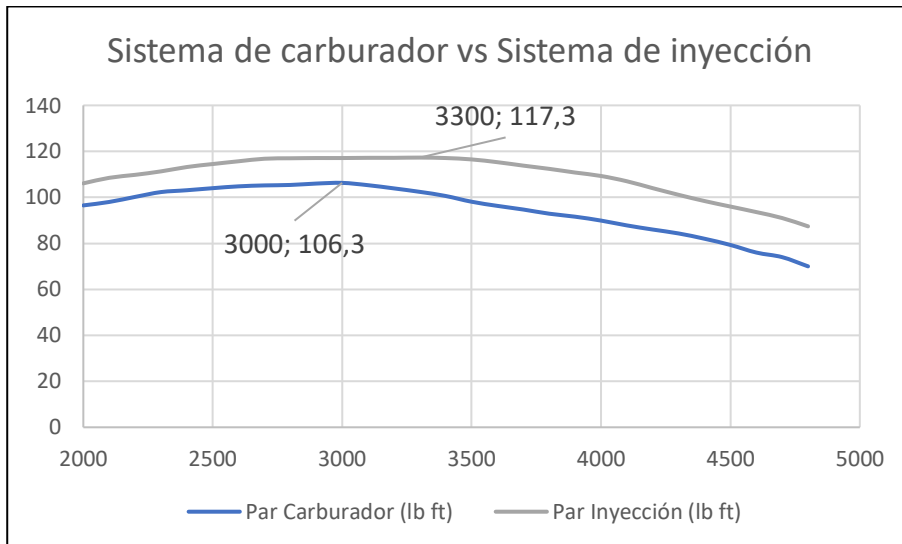
### Potencia

#### Figura 84

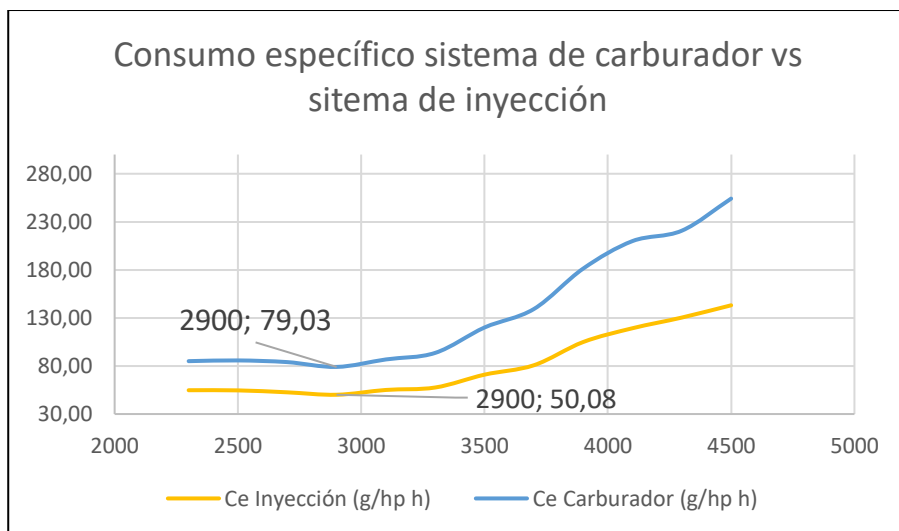
*Potencia del sistema de carburador vs sistema de inyección*



*Nota.* Existe un aumento de potencia de 14,3 *hp* entre el sistema de carburador y el sistema de inyección, siendo el sistema de inyección el que desarrolla mayor potencia. Se ha ganado un 20% de potencia extra.

**Par****Figura 85***Par del sistema de carburador vs sistema de inyección*

*Nota.* El par aumenta en 11 *lb ft* entre el sistema de carburador y el de inyección, siendo el sistema de inyección el que desarrolla mayor par. Se ha ganado un 10,3 % de par extra.

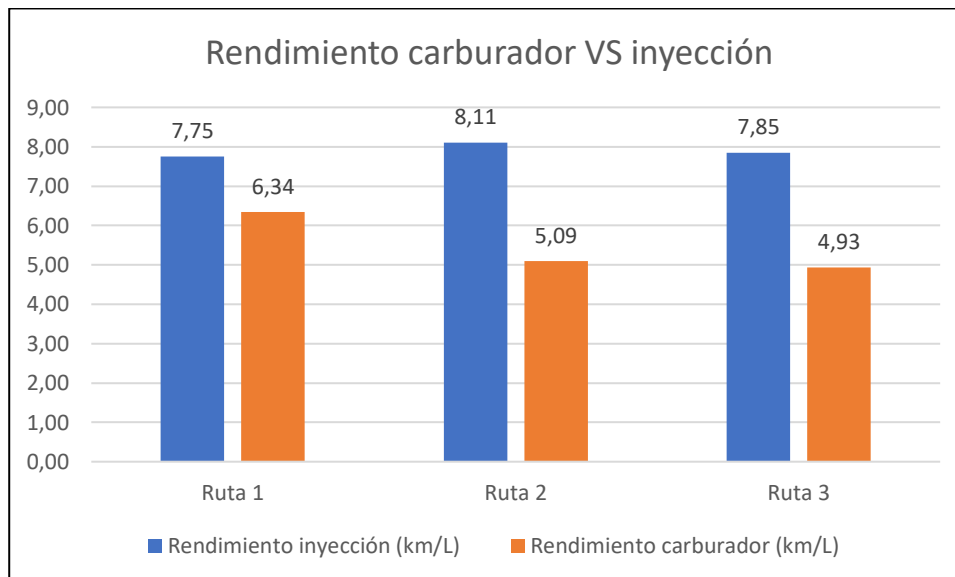
**Consumo específico****Figura 86***Consumo específico del sistema de carburador vs sistema de inyección*

*Nota.* Se evidencia una disminución del consumo específico de 28,95 *g/hp h*.

## Rendimiento

**Figura 87**

*Rendimiento entre el sistema de carburador y el sistema de inyección*



*Nota.* El rendimiento ha aumentado con la implementación del sistema de inyección, en la ruta 1 aumenta en 1,41 km/L, en la ruta 2 en 3,02 km/L y en la ruta 3 aumenta en 2,92 km/L.

## Autonomía

Para evidenciar el aumento en la autonomía es necesario conocer el rendimiento promedio de las tres rutas tanto en el sistema a carburador como el sistema de combustible.

- Rendimiento promedio sistema de alimentación a carburador

$$R_p = \frac{R_{ruta1} + R_{ruta2} + R_{ruta3}}{3}$$

$$R_{p_{carb}} = \frac{6,34 + 5,09 + 4,93}{3} = 5,45 \text{ km/L}$$

$$R_{p_{iny}} = \frac{7,75 + 8,11 + 7,85}{3} = 7,9 \text{ km/L}$$

El depósito de combustible original del prototipo de vehículo militar táctico es de 80L, entonces procedemos a obtener la autonomía para el sistema de alimentación de carburador y de inyección.

- Autonomía del vehículo con sistema de alimentación de carburador

$$A = \text{Volumen del depósito} * R_{p_{carb}}$$

$$A_{carb} = 80 \text{ L} * 5,45 \text{ km/L}$$

$$A_{carb} = 436,7 \text{ km}$$

- Autonomía del vehículo con sistema de alimentación a inyección electrónica

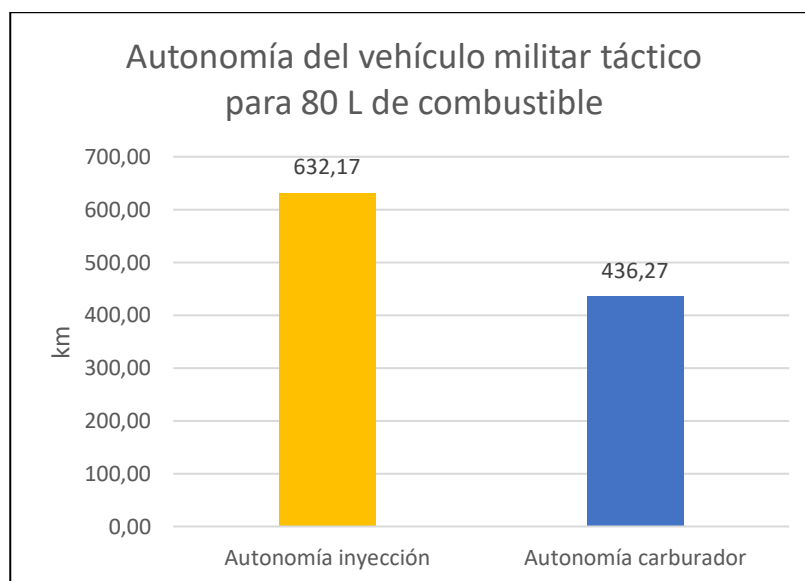
$$A = \text{Volumen del depósito} * R_{p_{iny}}$$

$$A_{carb} = 80 \text{ L} * 7,9 \text{ km/L}$$

$$A_{carb} = 632,17 \text{ km}$$

### Figura 88

Comparación de la autonomía del vehículo militar táctico



*Nota.* En el gráfico se puede evidenciar un aumento de la autonomía de 195,9 km.

Una vez que se ha optimizado el sistema de alimentación del vehículo militar táctico, cambiando el sistema de carburador por inyección electrónica tenemos un aumento de la autonomía del 44,9%, es decir que con una repostada completa de combustible podremos recorrer aproximadamente 195,9 km más que cuando contaba con el sistema de alimentación de carburador.

## Costos

Para conocer el valor de ahorro económico se considera lo siguiente, el valor de la gasolina extra en el país es de 2,40 \$ el galón, o su equivalente de 0,63 \$ el litro de combustible, el rendimiento inicial fue de 5,45  $km/L$ , el rendimiento final del prototipo es de 7,9  $km/L$  y en su estado final el vehículo con el depósito lleno es capaz de recorrer 195,9  $km$  más en comparación a sus condiciones iniciales.

- Valor económico por kilómetro recorrido del vehículo en condiciones iniciales.

$$5,45 \frac{km}{L} * \frac{1 L}{0,63 \$}$$

$$8,65 \text{ km}/\$$$

$$\frac{1}{8,65} \text{ $}/km$$

$$0,12 \text{ $}/km$$

- Valor económico por kilómetro recorrido con el vehículo optimizado.

$$7,9 \frac{km}{L} * \frac{1 L}{0,63 \$}$$

$$12,45 \text{ km}/\$$$

$$\frac{1}{12,45} \text{ $}/km$$

$$0,08 \text{ $}/km$$

- Ahorro económico por kilómetro recorrido

$$0,12 \text{ $}/km - 0,08 \text{ $}/km$$

$$0,04 \text{ $}/km$$

- Ahorro económico por 100 kilómetros de recorrido

$$4 \text{ $} / 100km$$

## Capítulo V

### Marco administrativo

#### Financiamiento

El trabajo realizado fue financiado por los autores, más adelante se detallan los recursos humanos, económicos y materiales que fueron necesarios para realizar la investigación.

#### Recursos humanos

Este apartado se refiere a las personas que intervinieron y aportaron al desarrollo del presente proyecto.

**Tabla 23**

*Recurso humanos*

| Nombre                               | Función |
|--------------------------------------|---------|
| Guasumba Amagua, Edison Patricio     | Autor   |
| Martínez Murillo, Jefferson Fabricio | Autor   |
| Cevallos Carvajal, Alex Santiago     | Tutor   |

*Nota.* Se muestra las personas que intervinieron en el desarrollo del proyecto

#### Recursos materiales

En esta sección se detallan equipos y herramientas que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 24**

*Equipos y herramientas en el proyecto*

| Ítem                     | Cantidad |
|--------------------------|----------|
| Computador               | 2        |
| Software de programación | 1        |
| Celular                  | 3        |
| Aplicación Android       | 2        |
| Banco dinamométrico      | 1        |

| Ítem                                       | Cantidad |
|--------------------------------------------|----------|
| Juego de dados de 3/8"                     | 1        |
| Playo                                      | 1        |
| Cortafrío                                  | 1        |
| Juego de desarmadores                      | 1        |
| Taipe                                      | 1        |
| Teflón                                     | 1        |
| Depósito de combustible graduado en litros | 1        |
| Paquete de amarras plásticas               | 1        |

*Nota.* Equipos y herramientas utilizados durante el desarrollo del proyecto.

### Recursos económicos

En la siguiente tabla se detallan los valores económicos de los elementos que fueron necesarios para la optimización del sistema de admisión.

**Tabla 25**

*Recursos económicos para la optimización del sistema de admisión*

| Descripción                          | Cantidad | Pre. Unit. | Sub Total |
|--------------------------------------|----------|------------|-----------|
| Computadora Programable Mx3 Pro      | 1        | 1200       | 1200,00   |
| Empaque de admisión                  | 1        | 5          | 5,00      |
| Banco Dinamométrico                  | 4        | 20         | 80,00     |
| Cuerpos de Aceleración (ITBs)        | 1        | 300        | 300,00    |
| Cable de Acelerador                  | 1        | 55         | 55,00     |
| Sockets Inyectores                   | 4        | 6          | 24,00     |
| Regulador de Presión de Combustible. | 1        | 65         | 65,00     |
| Manguera de Combustible              | 6        | 8          | 48,00     |
| Abrazaderas                          | 10       | 1,5        | 15,00     |
| Múltiple de Admisión Inoxidable      | 1        | 380        | 380,00    |
| Bobinas                              | 4        | 105        | 420,00    |
| Sockets de Bobinas                   | 4        | 12         | 48,00     |
| Bomba de Combustible                 | 1        | 160        | 160,00    |
| Base de Boba de Combustible          | 1        | 20         | 95,00     |

| <b>Descripción</b>           | <b>Cantidad</b> | <b>Pre. Unit.</b> | <b>Sub Total</b> |
|------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Rueda Fónica                 | 1               | 100               | 100,00           |
| Sensor CKP                   | 1               | 45                | 45               |
| Socket CKP                   | 1               | 15                | 15               |
| Base Sensor CKP              | 1               | 45                | 45,00            |
| Sensor IAT                   | 1               | 15                | 15,00            |
| Socket IAT                   | 1               | 6                 | 6,00             |
| Sensor CLT                   | 1               | 25                | 25,00            |
| Socket CLT                   | 1               | 8                 | 8,00             |
| Sensor TPS                   | 1               | 48                | 48               |
| Socket TPS                   | 1               | 15                | 15               |
| Base sensores de temperatura | 1               | 35                | 35               |
| Socket Inyectores            | 4               | 6                 | 24,00            |
| Plataforma                   | 2               | 80                | 160,00           |
| Cañerías                     | 4               | 5                 | 20,00            |
| <b>Total</b>                 |                 |                   | <b>3381,00</b>   |

*Nota.* Detalle de los recursos económicos para el desarrollo del proyecto.



## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

En el estado inicial del prototipo de vehículo táctico militar se evidencio dificultades en el funcionamiento propios del uso del sistema de carburador, como problemas en el arranque en frío, la necesidad de abrir el estrangulador para encender el motor y un consumo elevado de combustible.

Con base en los resultados de las pruebas de ruta realizadas, se obtuvo un rendimiento promedio de  $5,45 \text{ km/L}$ , el consumo se originó por la falta de control de aporte de combustible en diferentes situaciones de funcionamiento de motor, la dosificación de combustible se realizaba inclusive en desaceleraciones, además de no tener una mezcla completamente homogénea entre aire-combustible lo que limitó al motor a entregar  $69 \text{ hp}$  de potencia con par de  $106,3 \text{ lb ft}$ , lo que determina que el sistema de alimentación no entregaba un rendimiento aceptable.

Al seleccionar el sistema de inyección de combustible programable, se evidenció la flexibilidad de trabajo con diferentes sensores, a la vez de una interfaz de visualización de diferentes escenarios de funcionamiento, permitiendo un control avanzado de la dosificación de combustible.

Se verificó la elevación de las prestaciones del vehículo mediante optimización del sistema de alimentación, aumentado su potencia hasta  $83,3 \text{ hp}$  y  $117,3 \text{ lb ft}$  de par, asimismo fue con el rendimiento de combustible que ahora es de  $7,9 \text{ km/L}$ .

Se concluye que el sistema de inyección permite una respuesta más rápida de aceleración, asimismo un aumento general de su autonomía en un  $44,9 \%$ , resultados logrados por el mejoramiento del rendimiento volumétrico, rapidez de renovación de la mezcla, control del aporte de combustible y una mezcla más homogénea logrados por la implementación del sistema de inyección.

## **Recomendaciones**

Se recomienda para futuras investigaciones el diseño de un snorkel, debido a que el vehículo está destinado a recorrer caminos de difícil acceso y será inevitable el ingreso de partículas a la admisión, por lo que la toma de aire exterior deberá ser alta y contar con filtros de aire.

Se aconseja realizar una revisión visual del sistema de alimentación de combustible periódicamente, este sistema trabaja con alta presión de combustible por lo que es necesario que todas sus conexiones correctamente acopladas y selladas.

La bomba de alimentación de combustible es de tipo externa, no se encuentra en el depósito de combustible, está ubicada bajo el chasis del vehículo, es aconsejable construir una protección para la misma, a fin de evitar algún golpe que podría comprometer el estado de la bomba.

Revisar de forma constante las cornetas de los cuerpos de aceleración, antes de cada encendido si es posible, ya que estas permiten el paso directo hacia los cilindros y no hay ningún tipo de depuración de partículas u objetos, por que estos pueden pasar directamente hacia los cilindros si no se revisa constantemente.

## Bibliografía

- Acebes, S. S. (2011). *Motores*. Editex.
- Alonso, J. (2003). *Técnicas del Automóvil. Motores*. Thomson Paraninfo.
- Benajes, J., & Navarro, E. (2011). *Motores de combustión interna alternativos - Clasificación de los MCIA*. Reverté.
- Crouse, W. (1983). *Motores de Automóvil*. Marcombo.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s.f.). *Sistema Integrado de Consulta de Clasificaciones y Nomenclaturas*. Ficha Técnica de Productos Químicos:  
[https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co\\_quimico.php?id=33310.01.04](https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_quimico.php?id=33310.01.04)
- Lecuona, A., & Rodríguez, P. (2011). *Motores de combustión interna alternativos - Parámetros básicos*. Reverté.
- Mezquita, J., & Dols, J. (2001). *Tratado sobre Automóviles*. Alfaomega.
- My Motor List. (s.f.). *Motor Usuzu 4ZD1*. <https://es.mymotorlist.com/motores/isuzu/4zd1/>
- Pardiñas, J. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Editex.
- Sánchez, E. (2008). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Macmillan Profesional.
- Thiessen, F., & Dales, D. (1996). *Manual Técnico Automotriz Operación, Mantenimiento y Servicio - Tomo I*. Hispanoamericana.

**Anexos**