



**Diseño, construcción e implementación de un sistema de escape Tuned Pipe para un motor mono cilíndrico de 2 tiempos realizando pruebas mecánicas y de campo determinando parámetros de rendimiento del Go Kart**

Mejía Echeverría, Felipe Luciano y Sánchez Almeida, Jimmy Alexander

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio Msc.

Latacunga, 17 de agosto del 2021



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MÉCANICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño, construcción e implementación de un sistema de escape Tuned Pipe para un motor mono cilíndrico de 2 tiempos realizando pruebas mecánicas y de campo determinando parámetros de rendimiento del Go Kart”** fue realizado por los señores **Mejía Echeverría, Felipe Luciano y Sánchez Almeida, Jimmy Alexander** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 17 de agosto del 2021**

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**GUILLERMO  
MAURICIO CRUZ  
ARCOS**

.....

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C. C: 0503010555



## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	Diseño, construcción e implementación de un sistema de escape Tuned Pipe.pdf (D111405687)
<b>Submitted</b>	8/18/2021 4:29:00 AM
<b>Submitted by</b>	Cruz Arcos Guillermo Mauricio
<b>Submitter email</b>	gmcruz@espe.edu.ec
<b>Similarity</b>	2%
<b>Analysis address</b>	gmcruz.espe@analysis.orkund.com



Firma:



.....

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

C. C: 0503010555



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

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Mejía Echeverría, Felipe Luciano y Sánchez Almeida, Jimmy Alexander**, con cédulas de ciudadanía N° 1003150438 y N° 1725090664, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un sistema de escape Tuned Pipe para un motor mono cilíndrico de 2 tiempos realizando pruebas mecánicas y de campo determinando parámetros de rendimiento del Go Kart**, 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, 17 de agosto del 2021**

Firmas:

.....  
Mejía Echeverría, Felipe Luciano

C.C.:1003150438

.....  
Sánchez Almeida, Jimmy Alexander

C.C.:1725090664



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

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Mejía Echeverría, Felipe Luciano y Sánchez Almeida, Jimmy Alexander**, con cédulas de ciudadanía N° 1003150438 y N° 1725090664, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un sistema de escape Tuned Pipe para un motor mono cilíndrico de 2 tiempos realizando pruebas mecánicas y de campo determinando parámetros de rendimiento del Go Kart**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 17 de agosto del 2021**

Firmas:

.....  
Mejía Echeverría, Felipe Luciano

C.C.:1003150438

.....  
Sánchez Almeida, Jimmy Alexander

C.C.:1725090664

## **Dedicatoria**

Dedico este humilde trabajo a toda mi familia, a mi madre, Carmita, quien supo apoyarme en todo sentido. A mis hermanos Cosme, Andrés, Gonzalo, quienes me apoyaron incondicionalmente en el trayecto del presente proyecto y a mi familia en general. A mi abuelita quien me ayudo emocionalmente en todo momento y que me cuida desde el cielo. Dedico este trabajo a mis amigos quienes estuvieron presentes en todo lo malo, en especial a Yoli quien fue un apoyo incondicional en todos los problemas sufridos dentro y fuera de la vida universitaria.

**Felipe Mejía**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de grado quiero dedicarlo a Dios por haberme dado la salud y la fortaleza para permanecer en el camino que me he propuesto seguir

A mis padres por haberme dado la vida y ser el apoyo fundamental en mis estudios porque sin ellos nada de esto hubiera sido posible

**Jimmy Sánchez**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios, quien me da la fortaleza y salud para nunca dejar de batallar por mis sueños

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas por haberme permitido educarme en la carrera de Ingeniería Automotriz, tomando en cuenta su gran prestigio. Agradezco a los docentes de la carrera, en especial al Ingeniero Mauricio Cruz quien ayudo como guía en el presente proyecto de investigación.

Agradezco a mi familia por apoyarme en los diferentes trayectos de mi carrera universitaria y nunca dejar que me rindiera.

Agradezco a mi compañero de investigación debido a su dedicación incansable al proyecto.

Agradezco a mis amigos de la vida quienes supieron aconsejarme y ayudarme en diferentes fases universitarias. Agradezco especialmente a Yoli por hacerme comprender el potencial que tengo como persona y profesional y por alentarme a siempre seguir adelante.

**Felipe Mejía**

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a los docentes de la carrera de ingeniería automotriz por contribuir en la formación académica que he recibido

A mis padres porque gracias al apoyo que semestre tras semestre me han dado es que he logrado mantenerme y llegar hasta este punto de mi vida

A mi compañera especial, mi novia, ya que su apoyo a sido el complemento perfecto y ese impulso que necesitaba en mi vida para confiar en mí mismo y poder lograr muchas cosas hasta esta instancia de mi vida, Te amo.

**Jimmy Sánchez**

## Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Urkund.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento .....	8
Agradecimiento .....	9
Tabla de contenidos.....	10
Índice de figuras .....	14
Índice de Tablas .....	17
Índice de ecuaciones .....	19
Resumen .....	20
Abstract.....	21
Marco Metodológico de la Investigación .....	22
Antecedentes.....	22
Planteamiento del Problema.....	23
Descripción Resumida del Proyecto.....	24
Justificación e Importancia .....	25
Objetivos.....	26
<i>Objetivo General</i> .....	26
<i>Objetivos Específicos</i> .....	26
Metas del Proyecto.....	27
Hipótesis.....	27
Variables de la Investigación.....	28

<i>Variable Independiente</i> .....	28
<i>Variable Dependiente</i> .....	29
<b>Marco Teórico</b> .....	<b>30</b>
<b>Motor de 2 Tiempos</b> .....	<b>30</b>
<i>Constitución del motor</i> .....	30
<i>Sistemas auxiliares del motor de 2 tiempos</i> .....	31
<i>Puesta a punto</i> .....	35
<i>Principio de funcionamiento del motor de 2 tiempos</i> .....	39
<i>Ciclo teórico de un motor de 2 tiempos.</i> .....	40
<i>Ciclo real de un motor de 2 tiempos.</i> .....	43
<i>Parámetros característicos de funcionamiento</i> .....	44
<b>Sistemas de escape</b> .....	<b>46</b>
<i>Tipos de escape</i> .....	46
<b>Tuned Pipe</b> .....	<b>48</b>
<i>Materiales de Fabricación</i> .....	51
<i>Ventajas</i> .....	56
<i>Cálculos de diseño</i> .....	56
<i>Aplicaciones</i> .....	63
<b>Diseño e Ingeniería asistida por computadora</b> .....	<b>64</b>
<i>Diseño asistido por computador (CAD)</i> .....	64
<i>Ingeniería asistida por computadora (CAE)</i> .....	65
<i>Análisis fluido dinámico computarizado (CFD)</i> .....	66
<b>Soldadura</b> .....	<b>67</b>
<b>Pruebas de desempeño</b> .....	<b>70</b>
<i>Pruebas dinamométricas</i> .....	70
<i>Pruebas de velocidad</i> .....	71
<b>Normativa</b> .....	<b>71</b>

Diseño y Simulación .....	72
Cálculo del sistema .....	72
<i>Cálculo del Difusor de Entrada y Vientre</i> .....	76
<i>Cálculo del Difusor de Salida y Agujón</i> .....	77
Diseño .....	78
<i>Modelado</i> .....	78
Simulación .....	81
<i>Simulación Estática</i> .....	84
<i>Simulación de frecuencia</i> .....	89
<i>Selección de espesor</i> .....	91
<i>Simulación fluidodinámica</i> .....	92
Construcción y Pruebas .....	103
Construcción .....	103
<i>Proceso de corte de piezas</i> .....	103
<i>Proceso de barolado de piezas</i> .....	105
<i>Proceso de soldadura</i> .....	107
Implementación .....	108
Pruebas .....	109
<i>Pruebas al Go Kart con el escape antiguo (estándar)</i> .....	110
<i>Pruebas al Go Kart con el sistema de escape Tuned Pipe</i> .....	121
Pruebas de Normativa .....	127
<i>Medida de salida del escape</i> .....	127
<i>Prueba de Ruido</i> .....	128
Análisis de resultados .....	129
<i>Resultados de potencia máxima</i> .....	129
<i>Resultados de torque máximo</i> .....	130
<i>Resultados de velocidad máxima</i> .....	131

<i>Resultados de consumo de combustible</i> .....	132
<i>Valores iniciales y finales del Go Kart</i> .....	133
<b>Marco Administrativo</b> .....	135
<b>Recursos</b> .....	135
<i>Recursos humanos</i> .....	135
<i>Recursos tecnológicos</i> .....	135
<i>Recursos materiales</i> .....	136
<b>Presupuesto</b> .....	137
<i>Costos de construcción</i> .....	137
<i>Costos de pruebas de laboratorio</i> .....	138
<i>Costos de pruebas de pista</i> .....	139
<i>Costo total de la investigación</i> .....	139
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	141
<b>Conclusiones</b> .....	141
<b>Recomendaciones</b> .....	142
<b>Bibliografía</b> .....	144
<b>Anexos</b> .....	151

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Árbol de Problemas .....	<b>24</b>
<b>Figura 2</b> Constitución del motor de 2 tiempos.....	<b>31</b>
<b>Figura 3</b> Magneto y Conjunto de Bobinas con Ruptor.....	<b>32</b>
<b>Figura 4</b> Circuito del Sistema de Encendido .....	<b>33</b>
<b>Figura 5</b> Vista en Corte de un Motor de 2 Tiempos.....	<b>34</b>
<b>Figura 6</b> Mezcla Ideal para Máxima Potencia y Mayor Eficiencia.....	<b>36</b>
<b>Figura 7</b> Partes Principales del Carburador de Moto.....	<b>37</b>
<b>Figura 8</b> Diagnóstico del Motor por el Estado de las Bujías .....	<b>38</b>
<b>Figura 9</b> Carreras de un Motor de 2 Tiempos .....	<b>39</b>
<b>Figura 10</b> Diagrama de Distribución del Motor de 2 Tiempos.....	<b>40</b>
<b>Figura 11</b> Primer Tiempo (Admisión-Compresión-Explosión).....	<b>41</b>
<b>Figura 12</b> Segundo Tiempo (Expansión-Precompresión-Escape-Transferencia) .....	<b>42</b>
<b>Figura 13</b> Ciclo Real de un Motor de 2 Tiempos .....	<b>43</b>
<b>Figura 14</b> Gráfica Característica del Par Motor y Potencia de un Motor de Combustión Interna .....	<b>45</b>
<b>Figura 15</b> Tubo de Escape con Cámara de Expansión.....	<b>47</b>
<b>Figura 16</b> Funcionamiento del Difusor .....	<b>49</b>
<b>Figura 17</b> Funcionamiento del Cono Deflector.....	<b>50</b>
<b>Figura 18</b> Referencias de Medidas del Tuned Pipe.....	<b>57</b>
<b>Figura 19</b> Soplador H356BT .....	<b>64</b>
<b>Figura 20</b> Uso de CAD.....	<b>65</b>
<b>Figura 21</b> Elementos Finitos .....	<b>66</b>
<b>Figura 22</b> Análisis de un Flujo CFD .....	<b>67</b>
<b>Figura 23</b> Soldadura de Arco con Electrodo Revestido.....	<b>69</b>
<b>Figura 24</b> Soldadura por Arco con Gas de Protección (MIG) .....	<b>69</b>
<b>Figura 25</b> Soldadura de Arco con Gas de Protección con Electrodo de Tungsteno (TIG).....	<b>70</b>
<b>Figura 26</b> Temperatura Inicial del Escape.....	<b>73</b>
<b>Figura 27</b> Medición de Duración del Ciclo de Escape .....	<b>74</b>
<b>Figura 28</b> Diseño del Sistema de Escape Tuned Pipe Lineal.....	<b>78</b>
<b>Figura 29</b> Croquis 3D de Medidas de la Trayectoria del Sistema de Escape .....	<b>79</b>
<b>Figura 30</b> Prototipo Rápido en Cartón.....	<b>80</b>

<b>Figura 31</b> <i>Modelado del Sistema Real</i> .....	<b>80</b>
<b>Figura 32</b> <i>Sujeción Fija del Modelo</i> .....	<b>81</b>
<b>Figura 33</b> <i>Sujeción de Rodillo o Control Deslizante del Modelo</i> .....	<b>82</b>
<b>Figura 34</b> <i>Carga Aplicada en el Sistema de Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>83</b>
<b>Figura 35</b> <i>Mallado del Sistema Tuned Pipe</i> .....	<b>84</b>
<b>Figura 36</b> <i>Tensión de Von Misses Sobre el Sistema con Espesor de Material de 0.7 mm</i> .....	<b>85</b>
<b>Figura 37</b> <i>Desplazamiento del Sistema con 0.7 mm de Espesor</i> .....	<b>86</b>
<b>Figura 38</b> <i>Factor de Seguridad del Sistema con 0.7 mm de Espesor</i> .....	<b>86</b>
<b>Figura 39</b> <i>Tensión de Von Misses sobre el Sistema con Espesor de Material de 1 mm</i> .....	<b>87</b>
<b>Figura 40</b> <i>Desplazamiento del Sistema con 1 mm de Espesor</i> .....	<b>88</b>
<b>Figura 41</b> <i>Factor de Seguridad del Sistema con 1 mm de Espesor</i> .....	<b>88</b>
<b>Figura 42</b> <i>Velocidad de los Gases de Escape</i> .....	<b>93</b>
<b>Figura 43</b> <i>Mallado del Sistema de Escape</i> .....	<b>94</b>
<b>Figura 44</b> <i>Velocidad inicial del sistema</i> .....	<b>95</b>
<b>Figura 45</b> <i>Contrapresión Generada en el Sistema de Escape</i> .....	<b>96</b>
<b>Figura 46</b> <i>Finalización de la Contrapresión</i> .....	<b>96</b>
<b>Figura 47</b> <i>Final del Ciclo de Escape</i> .....	<b>97</b>
<b>Figura 48</b> <i>Simulación de Temperatura</i> .....	<b>98</b>
<b>Figura 49</b> <i>Estudio de Presiones en el Sistema de Escape</i> .....	<b>100</b>
<b>Figura 50</b> <i>Piezas Cortadas</i> .....	<b>104</b>
<b>Figura 51</b> <i>Baroladora de Lámina Casera</i> .....	<b>105</b>
<b>Figura 52</b> <i>Pieza Barolada</i> .....	<b>106</b>
<b>Figura 53</b> <i>Piezas Baroladas del Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>106</b>
<b>Figura 54</b> <i>Tubo de Escape Tuned Pipe Soldado</i> .....	<b>108</b>
<b>Figura 55</b> <i>Implementación del Sistema de Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>108</b>
<b>Figura 56</b> <i>Posicionamiento del Go Kart en el Dinamómetro</i> .....	<b>110</b>
<b>Figura 57</b> <i>Instalación del Ventilador</i> .....	<b>111</b>
<b>Figura 58</b> <i>Gráficas Dinamométricas del Go Kart con el Escape Antiguo</i> .....	<b>113</b>
<b>Figura 59</b> <i>Ruta de Pista, Kartódromo Cotopaxi</i> .....	<b>114</b>
<b>Figura 60</b> <i>Preparación para las Pruebas de Pista</i> .....	<b>116</b>
<b>Figura 61</b> <i>Resultados de la Primera Prueba de Velocidad Máxima</i> .....	<b>117</b>
<b>Figura 62</b> <i>Resultados de la Segunda Prueba de Velocidad Máxima</i> .....	<b>117</b>

<b>Figura 63</b> <i>Ruta para Prueba de Consumo de Combustible</i> .....	<b>119</b>
<b>Figura 64</b> <i>Medición de Combustible Restante</i> .....	<b>120</b>
<b>Figura 65</b> <i>Reemplazo del Sistema de Escape Antiguo por el Sistema de Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>121</b>
<b>Figura 66</b> <i>Gráficas Dinamométricas del Go Kart con el Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>122</b>
<b>Figura 67</b> <i>Resultados de la Primera Prueba de Velocidad Máxima</i> .....	<b>124</b>
<b>Figura 68</b> <i>Resultados de la Segunda Prueba de Velocidad Máxima</i> .....	<b>125</b>
<b>Figura 69</b> <i>Medición de Combustible Restante Tuned Pipe</i> .....	<b>126</b>
<b>Figura 70</b> <i>Altura de la Salida del Escape</i> .....	<b>128</b>
<b>Figura 71</b> <i>Medición de Ruido del Tuned Pipe</i> .....	<b>129</b>
<b>Figura 72</b> <i>Comparación de Potencia Máxima</i> .....	<b>130</b>
<b>Figura 73</b> <i>Comparación de Torque Máximo</i> .....	<b>131</b>
<b>Figura 74</b> <i>Comparación de Velocidad Máxima</i> .....	<b>132</b>
<b>Figura 75</b> <i>Comparación de Consumo de Combustible</i> .....	<b>133</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Sistema Tuned Pipe</i> .....	<b>28</b>
<b>Tabla 2</b>	<i>Desempeño del Motor</i> .....	<b>29</b>
<b>Tabla 3</b>	<i>Propiedades Mecánicas y Físicas del Acero ASTM 463</i> .....	<b>52</b>
<b>Tabla 4</b>	<i>Propiedades Mecánicas y Físicas del Acero UNS S40920</i> .....	<b>53</b>
<b>Tabla 5</b>	<i>Propiedades Mecánicas y Físicas del Acero SAE 304</i> .....	<b>54</b>
<b>Tabla 6</b>	<i>Radio Especifico de Calor</i> .....	<b>58</b>
<b>Tabla 7</b>	<i>Calculo Diámetro 7</i> .....	<b>63</b>
<b>Tabla 8</b>	<i>Procesos de Soldadura</i> .....	<b>68</b>
<b>Tabla 9</b>	<i>Normativa CIK-FIA</i> .....	<b>71</b>
<b>Tabla 10</b>	<i>Ficha Técnica del Motor Suzuki AX 100</i> .....	<b>72</b>
<b>Tabla 11</b>	<i>Medición de Datos Adicionales</i> .....	<b>73</b>
<b>Tabla 12</b>	<i>Datos de Cálculo del Sistema Tuned Pipe</i> .....	<b>75</b>
<b>Tabla 13</b>	<i>Cálculo de las Longitudes del Difusor de Entrada y Vientre</i> .....	<b>76</b>
<b>Tabla 14</b>	<i>Cálculo de Diámetros del Difusor de Entrada y Vientre</i> .....	<b>77</b>
<b>Tabla 15</b>	<i>Propiedades del Material AISI 304 en el Software</i> .....	<b>82</b>
<b>Tabla 16</b>	<i>Información y Propiedades del Mallado</i> .....	<b>83</b>
<b>Tabla 17</b>	<i>Resultados del Estudio de Frecuencias de Destrucción con 0.7 mm de espesor</i> .....	<b>90</b>
<b>Tabla 18</b>	<i>Resultados del Estudio de Frecuencias de Destrucción con 1 mm de espesor</i> .....	<b>91</b>
<b>Tabla 19</b>	<i>Frecuencias Cercanas al Rango Optado de Uso</i> .....	<b>91</b>
<b>Tabla 20</b>	<i>Parámetros Iniciales para la Simulación Fluidodinámica</i> .....	<b>92</b>
<b>Tabla 21</b>	<i>Propiedades de Malla del Estudio Fluidodinámico</i> .....	<b>94</b>
<b>Tabla 22</b>	<i>Variación de la Presión vs el Tiempo</i> .....	<b>101</b>
<b>Tabla 23</b>	<i>Propiedades de la Máquina de Corte Laser</i> .....	<b>104</b>
<b>Tabla 24</b>	<i>Parámetros para el Proceso de Soldadura</i> .....	<b>107</b>
<b>Tabla 25</b>	<i>Potencia y Torque, Pruebas del Go Kart con el Escape Antiguo</i> .....	<b>114</b>
<b>Tabla 26</b>	<i>Especificaciones de las Pruebas de Pista</i> .....	<b>115</b>
<b>Tabla 27</b>	<i>Pruebas de Velocidad Máxima</i> .....	<b>118</b>
<b>Tabla 28</b>	<i>Prueba de Consumo de Combustible</i> .....	<b>120</b>
<b>Tabla 29</b>	<i>Potencia y Torque, Pruebas del Go Kart con el Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>123</b>
<b>Tabla 30</b>	<i>Pruebas de Velocidad Máxima Tuned Pipe</i> .....	<b>125</b>

<b>Tabla 31</b>	<i>Prueba de Consumo de Combustible Tuned Pipe</i> .....	<b>127</b>
<b>Tabla 32</b>	<i>Valores Iniciales y Finales del Go Kart</i> .....	<b>134</b>
<b>Tabla 33</b>	<i>Recursos Humanos</i> .....	<b>135</b>
<b>Tabla 34</b>	<i>Recursos Tecnológicos</i> .....	<b>136</b>
<b>Tabla 35</b>	<i>Recursos Materiales</i> .....	<b>137</b>
<b>Tabla 36</b>	<i>Costo de Construcción del Sistema de Escape Tuned Pipe</i> .....	<b>138</b>
<b>Tabla 37</b>	<i>Costos de Pruebas de Laboratorio</i> .....	<b>138</b>
<b>Tabla 38</b>	<i>Costo de Pruebas de Pista</i> .....	<b>139</b>
<b>Tabla 39</b>	<i>Costo Total de la Investigación</i> .....	<b>139</b>

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> <i>Velocidad Acústica – Presión</i> .....	<b>57</b>
<b>Ecuación 2</b> <i>Longitud Total del Sistema</i> .....	<b>58</b>
<b>Ecuación 3</b> <i>Longitud Sección 1</i> .....	<b>59</b>
<b>Ecuación 4</b> <i>Longitud Sección 2</i> .....	<b>59</b>
<b>Ecuación 5</b> <i>Longitud Sección 3</i> .....	<b>59</b>
<b>Ecuación 6</b> <i>Longitud Sección 4</i> .....	<b>59</b>
<b>Ecuación 7</b> <i>Longitud Sección 5</i> .....	<b>60</b>
<b>Ecuación 8</b> <i>Longitud Sección 6</i> .....	<b>60</b>
<b>Ecuación 9</b> <i>Longitud Sección 7</i> .....	<b>60</b>
<b>Ecuación 10</b> <i>Diámetro 1 del Sistema de Escape</i> .....	<b>61</b>
<b>Ecuación 11</b> <i>Diámetro 4 del Sistema de Escape</i> .....	<b>61</b>
<b>Ecuación 12</b> <i>Factor de Cálculo x12</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 13</b> <i>Factor de Cálculo x13</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 14</b> <i>Factor de Calculo Kh, Seleccionado por Diseñador</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 15</b> <i>Diámetro 2 del Sistema Escape</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 16</b> <i>Diámetro 3 del Sistema de Escape</i> .....	<b>62</b>
<b>Ecuación 17</b> <i>Diámetro 7 del Sistema de Escape</i> .....	<b>63</b>

## Resumen

En la presente investigación se analizó el motor 2 tiempos, que, debido a su principio de funcionamiento, presenta un problema de desperdicio de combustible lo que se traduce en una pérdida de potencia, es por esto la importancia del desarrollo de un sistema de escape que permita el aprovechamiento del combustible desperdiciado con la finalidad de aumentar dicho parámetro. En ese sentido, se realizó el diseño y construcción de un sistema de escape Tuned Pipe en acero inoxidable 304, el cual brinda propiedades térmicas adecuadas para su funcionamiento; el diseño se apoyó en el uso de software de ingeniería donde se analizó la geometría interna del escape teniendo en cuenta un difusor de entrada y uno de salida que genera una contrapresión evitando que exista una pérdida de combustible en cada ciclo de funcionamiento, comprobado el diseño se procedió a realizarse la construcción mediante procesos de manufactura de corte, rolado y soldadura. Al realizarse las pruebas de rendimiento en laboratorio y pista, comparando al sistema de escape antiguo con el sistema de escape Tuned Pipe se notó una mejoría de 94.59% en la potencia, un 62.07% en el torque y un 49% en la velocidad máxima. De esta manera se validó el diseño del sistema de escape Tuned Pipe; pero al mejorar los parámetros mencionados existió un aumento del consumo de combustible que generó una disminución en la autonomía del Go Kart en un 27.27% comparado con el escape antiguo.

Palabras clave:

- **GO KART - AUTOMOVILISMO**
- **MOTOR DE DOS TIEMPOS - AUTOMOVILISMO**
- **TUNED PIPE**

## **Abstract**

In the present research, the 2-stroke engine was analyzed, which due to its operating principle, presents a problem of fuel waste which results in a loss of power, which is why it is important to develop an exhaust system that allows the use of the wasted fuel to increase this parameter. In this sense, the design and construction of a Tuned Pipe exhaust system in stainless steel 304 was carried out, which provides adequate thermal properties for its operation; the design was supported by the use of engineering software where the internal geometry of the exhaust was analyzed taking into account an inlet diffuser and an outlet diffuser that generates a back pressure avoiding a loss of fuel in each operating cycle, once the design was checked, the construction was carried out employing cutting, rolling and welding manufacturing processes. When the performance tests were carried out in the laboratory and on the track, comparing the old exhaust system with the Tuned Pipe exhaust system, an improvement of 94.59% in power, 62.07% in torque, and 49% in maximum speed was noted. In this way, the design of the Tuned Pipe exhaust system was validated, but by improving the mentioned parameters there was an increase in fuel consumption that generated a decrease in the autonomy of the Go-Kart by 27.27% compared to the old exhaust.

Key words:

- **GO KART – MOTORSPORT**
- **TWO-STROKE ENGINE - MOTORSPORT**
- **TUNED PIPE**

## Capítulo I

### 1. Marco Metodológico de la Investigación

#### 1.1. Antecedentes

(Cartwright & Fleck, 1994) con su estudio: “Una investigación detallada del diseño del sistema de escape en motores de dos tiempos de alto rendimiento” Analizan cuál es la variabilidad que existe a la presión media efectiva al utilizar un sistema de escape Tuned Pipe y un escape normal en un motor de dos tiempos de alto rendimiento, y obtienen resultados que al no utilizar un sistema Tuned Pipe para el motor existe una reducción de al menos un 50% del valor que se puede obtener con el Tuned Pipe, para llegar a esta conclusión se analizó el motor en un dinamómetro a velocidades de alto rendimiento.

(Gustafsson, Blair, & Jonsson, 2001) en su investigación: “Reducir las emisiones de escape y aumentar Salida de energía usando un tubo de escape afinado en un motor de dos tiempos” realiza un estudio simulatorio de cómo mejoraría las características del motor utilizando un sistema de escape Tuned Pipe además de realizar mediciones de los hidrocarburos que existen en los gases, y al realizar la simulación es factible realizar ambas acciones por lo que ponen a prueba el modelo en altas revoluciones, y disminuyeron los gases de escape para que puedan pasar cualquier estándar de medición de motores, además de incrementar el torque de salida en ciertos valores de revoluciones óptimas.

(Zsiga, Kerres, Bach, & Fuoss, 2010) en su estudio: “Potencial de la cámara de expansión en el sistema de escape en herramientas que trabajan con motores de dos tiempos” analizan cómo disminuir el costo del mercado en las herramientas, para que

con un mismo motor se puedan tener variaciones de potencia dependiendo de la velocidad necesaria, para esto ponen a prueba el uso de un sistema de escape Tuned Pipe optimizado para determinar el porcentaje de disminución de hidrocarburos como también los porcentajes de aumento de la potencia y el torque que existe al instalar estos sistemas optimizados, concluyen que el rendimiento del motor aumenta en un 40% reduciendo emisiones específicas en un 34%. proponiendo así utilizar motores más cortos para disminuir costo y peso, pero teniendo una misma potencia de salida que un motor de carrera más largo implementando un sistema de escape optimizado para la herramienta.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

El desarrollo de potencia en los motores de combustión interna involucra una serie de modificaciones que, en la mayoría de los casos, es necesario intervenir en varios de los sistemas auxiliares del motor para obtener mejoras en el rendimiento. En ese sentido, las modificaciones posibles a realizarse van a depender del tipo de motor en cuestión. En un motor de dos tiempos, una manera de mejorar el rendimiento sin intervenir en componentes internos del mismo es la de instalar un sistema de escape denominado Tuned Pipe.

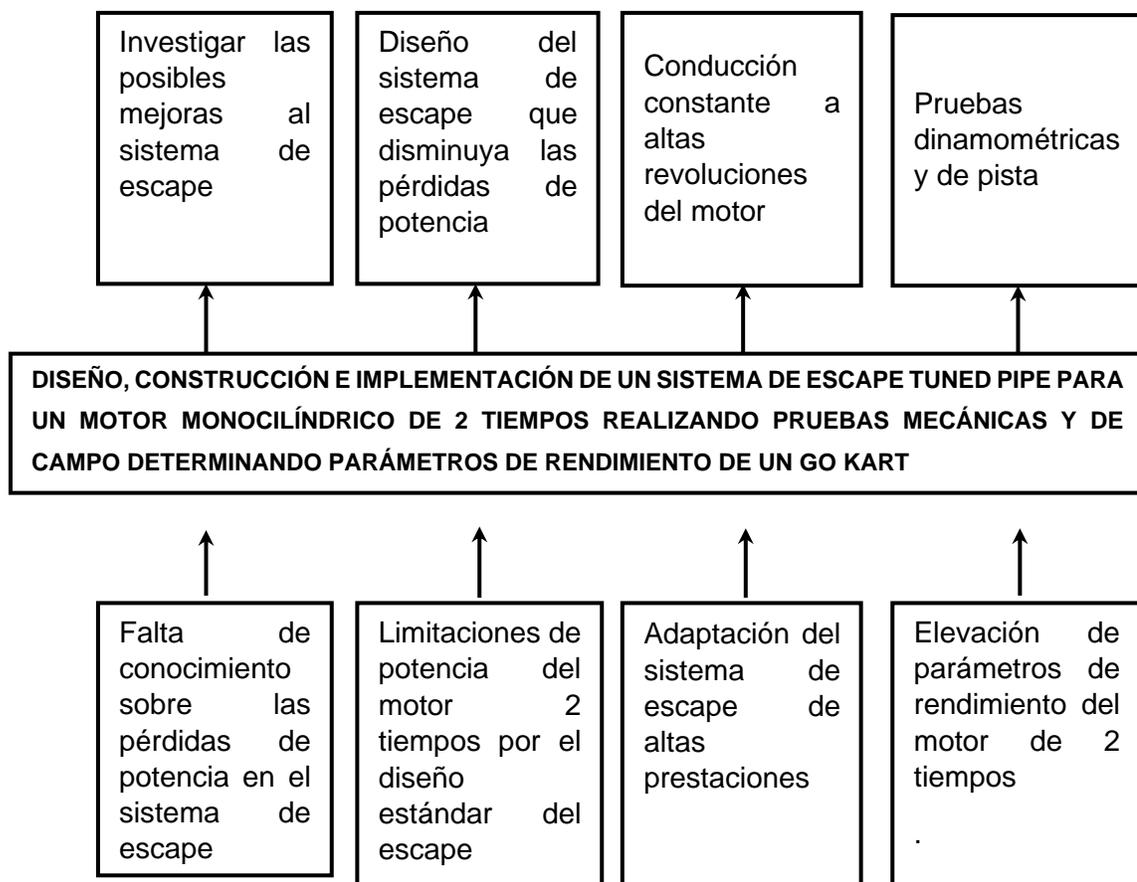
En las competencias de karting, en vehículos que utilizan motores de dos tiempos ya sean propios de kart o adaptados, un porcentaje utilizan el sistema Tuned Pipe como sistema de escape para sus unidades de potencia independientemente de la cilindrada de los motores.

En una competencia de karting considerando vehículos dentro de la misma categoría, el no contar con un sistema de escape como el Tuned Pipe que permita obtener una mejor potencia en los motores significaría una desventaja con respecto a

los demás competidores disminuyendo la posibilidad de alcanzar mejores posiciones al finalizar la competencia.

**Figura 1**

*Árbol de Problemas*



*Nota.* La figura representa el árbol de problemas de la presente investigación

### 1.3. Descripción Resumida del Proyecto

Se realizará una investigación bibliográfica en fuentes digitales confiables que traten temas relacionados al desarrollo de sistemas de escape en los motores de dos tiempos a gasolina por lo que quedará establecida la base para el desarrollo correcto de un sistema de escape Tuned Pipe.

Para la investigación se hará uso de un Go Kart perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, el cual tiene como unidad de potencia un motor de 2 tiempos, AX 100, del que se tomará datos de funcionamiento para el correcto diseño del sistema de escape.

La parte del diseño y modelado se trabajará en un software de diseño asistido por computador (CAD) para llevar a cabo el diseño del sistema de escape Tuned Pipe basado en la investigación bibliográfica y en los parámetros de funcionamiento del motor seleccionado.

Se efectuará un análisis de fluido dinámico computarizado (CFD) sobre el modelo del sistema de escape Tuned Pipe con la finalidad de comprender el movimiento y desplazamiento del fluido circundante.

Realizaremos pruebas dinamométricas y de pista para evaluar el desempeño del motor en funcionamiento con el sistema de escape en uso (antiguo) y el Tuned Pipe determinando parámetros como potencia, torque y velocidad máxima.

Para complementar el estudio se ejecutará una comparación entre los resultados obtenidos de las pruebas dinamométricas y de pista al motor en cuestión, verificando los pros y contras del sistema de escape modificado y de la investigación en general.

#### **1.4. Justificación e Importancia**

La presente investigación se crea a partir de la necesidad de aumentar la potencia, torque y velocidad en vehículos de competición que utilicen como unidad propulsora motores monocilíndricos de 2 tiempos. En la actualidad, para el desarrollo de motores de alto rendimiento se involucra la modificación de componentes del tren alternativo y se infravalora modificaciones que tengan que ver con el ingreso y expulsión

de gases, es por esto que el diseño de un sistema de escape Tuned Pipe ayuda a elevar los parámetros de rendimiento de un motor sin tener la necesidad de intervenir en los componentes internos del mismo.

Los motores de dos tiempos presentan grandes características de potencia en comparación con el peso por lo que se utiliza en diferentes competencias, pero el inconveniente de estos motores es la baja eficiencia volumétrica debido a las pérdidas de mezcla aire/combustible en el traslape de válvulas por lo que al optar por el diseño de un Tuned Pipe se reduce las pérdidas de la mezcla a combustionarse aumentando así la potencia y por ende la velocidad del Go Kart en competición.

El presente trabajo de investigación colaborará como una guía para el desarrollo de sistemas de escape para motores de dos tiempos por lo que pueden ser usados en varias disciplinas de competición, así como en motocicletas de calle.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Diseñar, construir e implementar un sistema de escape Tuned Pipe para un motor monocilíndrico de 2 tiempos realizando pruebas mecánicas y de campo para determinar parámetros de rendimiento del Go Kart.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Investigar el funcionamiento del sistema de escape en motores de 2 tiempos.
- Diseñar el sistema de escape Tuned Pipe para el motor del Go Kart de acuerdo con sus especificaciones.

- Realizar un análisis de fluido dinámico computarizado (CFD) al sistema de escape diseñado.
- Implementar el sistema de escape con el material acero inoxidable 304 para la aplicación de la investigación.
- Efectuar pruebas mecánicas en laboratorio y campo para analizar los parámetros en el rendimiento del Go Kart.
- Comparar los valores de desempeño del sistema de escape original en relación con el sistema de escape Tuned Pipe.

#### **1.6. Metas del Proyecto**

- Marco teórico y referencial acerca del funcionamiento de sistemas de escape de alto rendimiento para motores de dos tiempos.
- Modelo 3D del sistema de escape Tuned Pipe para el motor del Go kart.
- Análisis de fluido dinámico computarizado del sistema de escape diseñado.
- Prototipo del sistema de escape Tuned Pipe en acero inoxidable 304.
- Parámetros de eficiencia y rendimiento del Go Kart.
- Tabla comparativa de valores entre el sistema de escape original y el Tuned Pipe.

#### **1.7. Hipótesis**

El sistema de escape Tuned Pipe diseñado y construido, presentará igual o mejor desempeño de los parámetros de rendimiento del Go Kart.

## 1.8. Variables de la Investigación

### 1.8.1. Variable Independiente

Implementación del sistema Tuned Pipe.

**Tabla 1**

*Sistema Tuned Pipe*

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica	Instrumentos
		Modelado	--	Experimental	Protocolo de pruebas
Resultado de simulación	Tecnológico	Simulación (CFD)	--	Experimental	Protocolo de pruebas
		Simulación mecánica	--	Experimental	Protocolo de pruebas
Fabricación del sistema Tuned Pipe	Tecnológico	Construcción	--	Experimental Prueba de laboratorio	Soldadura TIG

### 1.8.2. Variable Dependiente

**Tabla 2**

*Desempeño del Motor*

Concepto	Categorías	indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
Análisis del rendimiento, eficiencia, potencia	Parámetros	Potencia	hp	Banco de pruebas	Dinamómetro
		Torque	lb-ft	Banco de pruebas	Dinamómetro
		Velocidad	m/s	Circuito de carrera	Velocímetro
		Consumo de combustible	km/lt	Circuito de carrera	Pipeta

## Capítulo II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Motor de 2 Tiempos

Los motores de 2 tiempos, antiguamente también denominados de tres ventanas, son máquinas térmicas que transforman la energía calorífica de un combustible en trabajo mecánico, todo esto lo realizan en 360° de giro del cigüeñal, es decir, en una vuelta. Esta es la principal diferencia comparados con los motores de 4 tiempos, pero al igual que estos realizan las cuatro carreras que son: admisión, compresión, trabajo y escape (Vicente, 1966).

Un motor de 2 tiempos logra cumplir el doble de ciclos de combustión que un motor de 4 tiempos en un mismo instante. En ese sentido, la potencia de un motor de 2 tiempos sería el doble comparado con un motor de 4 tiempos, pero considerando que el tiempo del ciclo se reduce a la mitad esto no se cumple (Acebes, 2007).

Un fenómeno importante que ocurre en los motores de 2 tiempos es el conocido como “cortocircuito” y ocurre cuando la mezcla fresca que entra al cilindro sale por la lumbrera de escape sin ser combustionada. Esto evita obtener el máximo rendimiento en este tipo de motores porque es importante lograr una buena eficiencia en el intercambio de gases dentro del cilindro (Climent y Giménez, 2011).

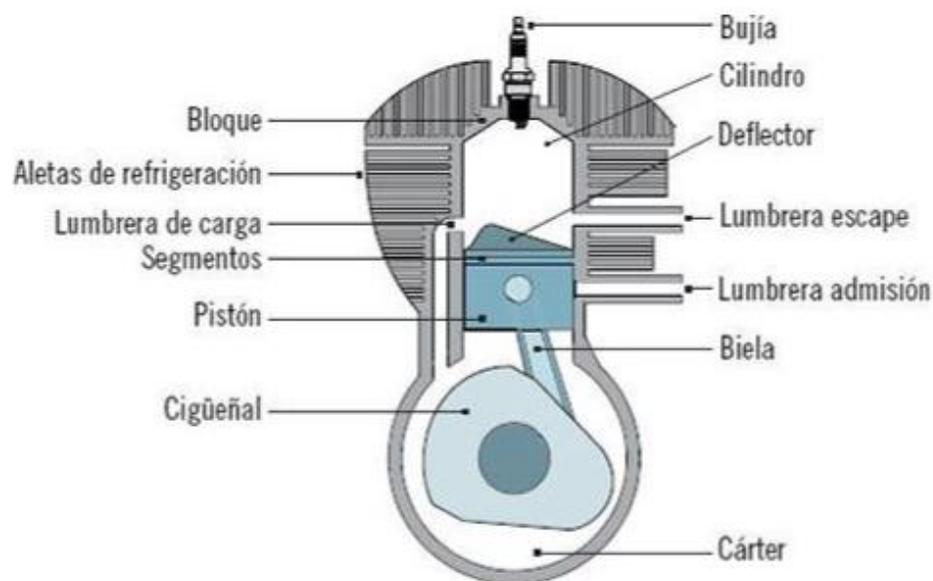
##### 2.1.1. Constitución del motor

Un motor de 2 tiempos está constituido por un tren alternativo que lo conforma el pistón, biela y cigüeñal. El diseño de su culata es de manera simplificada ya que no hace uso de válvulas para el intercambio de gases como se indica en la Figura 2. Según Gutiérrez (2012), la mezcla de gases frescos que se admiten se almacena

momentáneamente en el cárter donde tienen una precompresión; a continuación, pasan al interior del cilindro a través de la lumbrera de carga. Esta mezcla empuja los gases combustionados del ciclo anterior por la lumbrera de escape y se combustionan por efecto del arco eléctrico producido en la cabeza de la bujía.

## Figura 2

*Constitución del motor de 2 tiempos*



*Nota.* La figura representa las partes de motor de 2 tiempos. Tomado de *Mantenimiento de Motores Térmicos de dos y cuatro tiempos* (p. 26), por M. S. Gutiérrez, 2012, IC Editorial.

### **2.1.2. Sistemas auxiliares del motor de 2 tiempos**

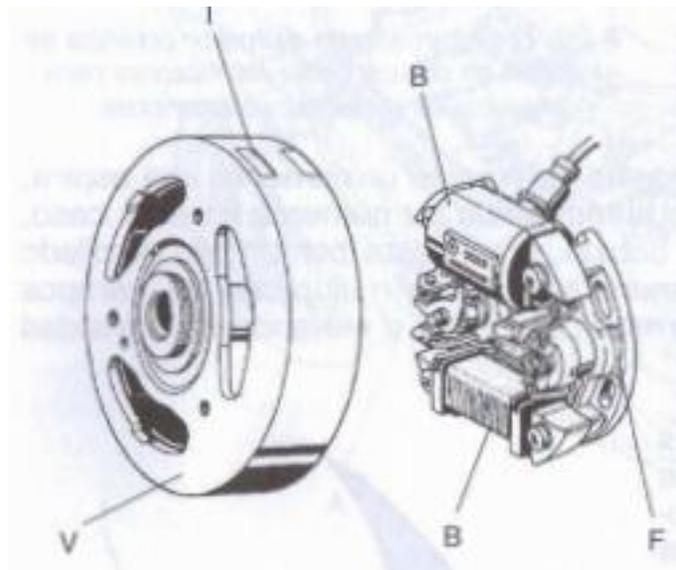
#### **a) Sistema de encendido.**

Uno de los sistemas auxiliares es el sistema de encendido, necesario para provocar el arco eléctrico en la bujía e inflamar el combustible. Un motor de 2 tiempos comúnmente utiliza un sistema denominado encendido por magneto. Rodríguez y

Navarro (2011) mencionan que, el magneto es un componente eléctrico que se encarga de generar la corriente alterna, esto lo logra gracias un conjunto de imanes permanentes y un cuerpo de bobinas que se encuentran enrolladas en un núcleo de hierro, el rotor del magneto se encuentra solidario al cigüeñal del motor por lo que cuando este gira, su movimiento ayuda a generar la corriente alterna. En la Figura 3 se observa el volante magnético (V) y el par de bobinas (B).

### Figura 3

*Magneto y Conjunto de Bobinas con Ruptor*

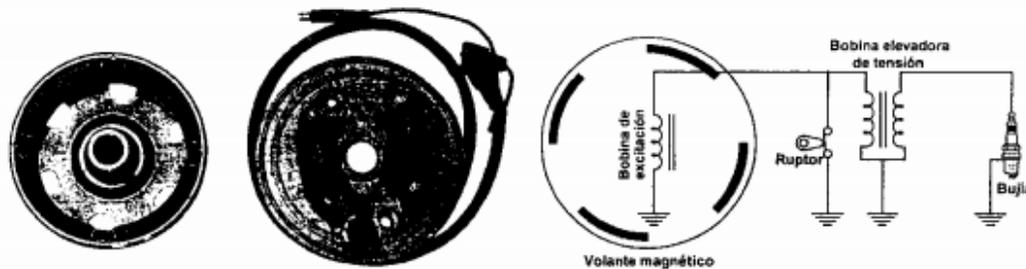


*Nota.* La figura representa el magneto compuesto de imanes permanentes y el conjunto de bobinas que sirven para generar la corriente alterna. Tomado de *Motocicletas Edición 32* (p. 408), por M. Arias-Paz, 2003, Dossat 2000.

El circuito completo se compone del conjunto magneto y estator (conjunto de bobinas de excitación y ruptor), además de una bobina de alta tensión que sirve para elevar el voltaje de señal que proviene del ruptor y la bujía que es en donde termina el camino de la alta tensión generada por la bobina como se observa en la Figura 4.

## Figura 4

### *Circuito del Sistema de Encendido*



*Nota.* La figura muestra todos los componentes del sistema de encendido de un motor de 2 tiempos, así como la representación del circuito eléctrico. Tomado de “Encendido Eléctrico” por L. Rodríguez y E. Navarro, en F. Payri y J. Desantes Editores, Motores de Combustión interna Alternativos (p. 527), 2011, REVERTÉ.

### **b) Sistema de refrigeración.**

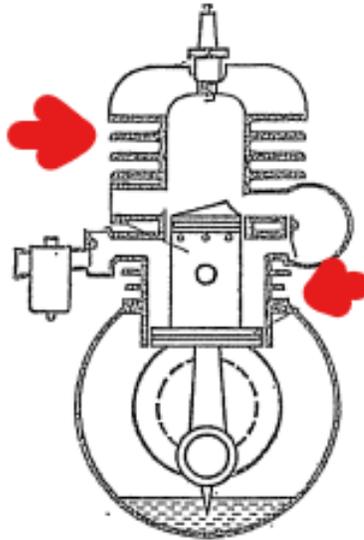
Por lo general, los motores de 2 tiempos de baja cilindrada son refrigerados por aire haciendo mucho más sencilla la construcción de estos. Para el motor refrigerado por aire, no se hace uso de un fluido circundante para mantener la temperatura adecuada del motor. Para lograr esto, es el propio aire que circula a través del motor el que se encarga de refrigerarlo, cuando el vehículo que lo posee se desplaza, la circulación de aire será mejor y la refrigeración más eficiente (Torregrosa y Olmeda, 2011).

Como se observa en la Figura 5, tanto el cabezote como el cilindro presentan una estructura con aletas para hacer más eficiente la refrigeración, las aletas ayudan a aumentar la superficie de contacto con el medio ambiente, de ese modo se existe mayor intercambio de calor. En algunos casos hacer funcionar un motor refrigerado por aire de manera estática (acelerarlo y no mantenerlo en ralentí) puede provocar un aumento de

la temperatura del motor por lo cual esta práctica no es muy aconsejable en este tipo de motores.

### Figura 5

*Vista en Corte de un Motor de 2 Tiempos*



*Nota.* En la figura se puede observar la colocación de aletas tanto en el cilindro como en el cabezote, esto con la finalidad de ayudar al intercambio de calor con el fluido exterior. Adaptado de Trucaje de motores de dos tiempos (Edición N° 7, p. 33), por M. Vicente, 1966, Ediciones CEAC.

#### **c) Sistema de lubricación.**

Los motores de 2 tiempos utilizan una pequeña cantidad de aceite para lubricar piezas internas del conjunto de velocidades que, por lo general, en motores de baja cilindrada, esta capacidad corresponde a un cuarto de galón. Sin embargo, para mantener lubricado el tren alternativo se utiliza otra técnica, ésta consiste en mezclar el combustible con una parte de aceite (Vicente, 1966).

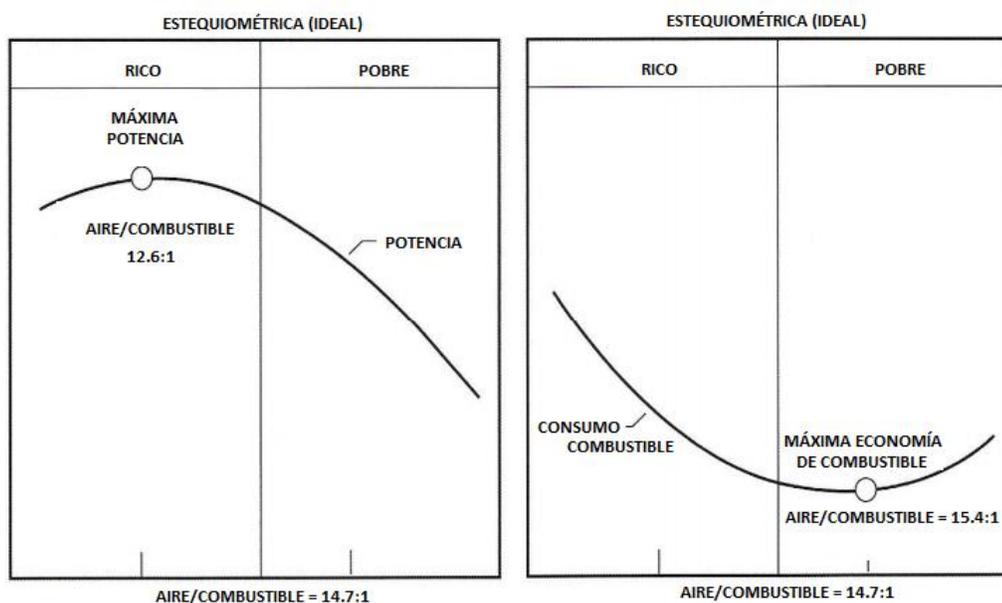
Robinson (1995) establece que, en el caso de existir formación de depósitos o incrustaciones en el interior del cilindro, se puede revisar la cantidad de mezcla de aceite con gasolina que se está utilizando y que para llegar a la condición ideal es necesario llevar a cabo pruebas experimentales hasta encontrar la proporción de mezcla ideal. Además, menciona que, para algunos fabricantes la proporción de la mezcla puede estar de 20 a 24 a 1 (para motores usados en vehículos de competición) es decir, de 20 a 24 partes de combustible por 1 parte de aceite, además mencionan como límite la proporción de 40 a 1, lo que equivale a una mezcla al 2.5% de aceite en el volumen total de combustible utilizado.

### **2.1.3. Puesta a punto**

La mezcla estequiométrica para motores a gasolina se encuentra alrededor de 14,7:1; es decir, 14,7 partes de aire por 1 parte de gasolina. Pero esta proporción varía un poco dependiendo de lo que se quiere lograr con el motor. “Para obtener la mejor potencia, se ha encontrado que entre 13,2 y 13,4 ( $\lambda=0.95$ ) es ideal”. (Banish, 2007, p.15). Sin embargo, este valor puede variar de acuerdo con cada motor, es decir, no todos los motores van a desarrollar la misma potencia con una relación aire/combustible de 13:1. En la Figura 6 se observa las curvas de potencia y consumo de combustible con diferentes valores de mezcla estequiométrica.

**Figura 6**

*Mezcla Ideal para Máxima Potencia y Mayor Eficiencia*

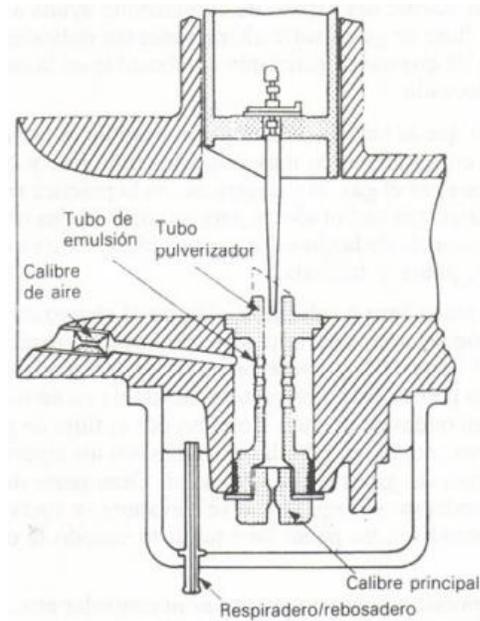


*Nota.* La figura representa la curva característica del valor aproximado de mezcla estequiométrica para obtener la mayor potencia y el valor para mayor economía del combustible. Tomado de Engine Management Advanced Tuning (Vol. n°135, p.16), por G. Banish, 2007, CarTech Inc.

El carburador permite únicamente la calibración de aire en mínimo mediante el tornillo de calibración como se observa en la Figura 7, así que éste es el parámetro con el que se puede obtener variaciones en la mezcla aire/combustible (Tinaut y Horrillo, 2011).

## Figura 7

### Partes Principales del Carburador de Moto



*Nota.* La figura representa las partes principales del carburador de moto, así como el tornillo de regulación del paso de aire. Tomado de *Motocicletas. Puesta a punto de motores de 2 tiempos* (Edición n°3, p. 132), por J. Robinson, 1995, Paranifo.

Otro método para comprobar si la calibración del tornillo de paso de aire es el correcto, pero no tan preciso, es verificar el estado de la bujía luego de realizar un ajuste al tornillo. La bujía puede indicarnos el estado de la mezcla aire/combustible mediante una observación visual al extraerla, como se aprecia en la Figura 8. Para ello hay que darle un determinado ajuste al tornillo de calibración y poner la marcha a motor en diferentes condiciones de aceleración, luego de eso, extraer la bujía y verificar su estado.

## Figura 8

### *Diagnóstico del Motor por el Estado de las Bujías*



*Nota.* La figura representa el estado de las bujías luego de un período de tiempo en el que se puede identificar las condiciones de trabajo, así como el estado de la mezcla aire/combustible. Adaptado de Todo sobre bujías de encendido (p. 8), por BERU, 2021.

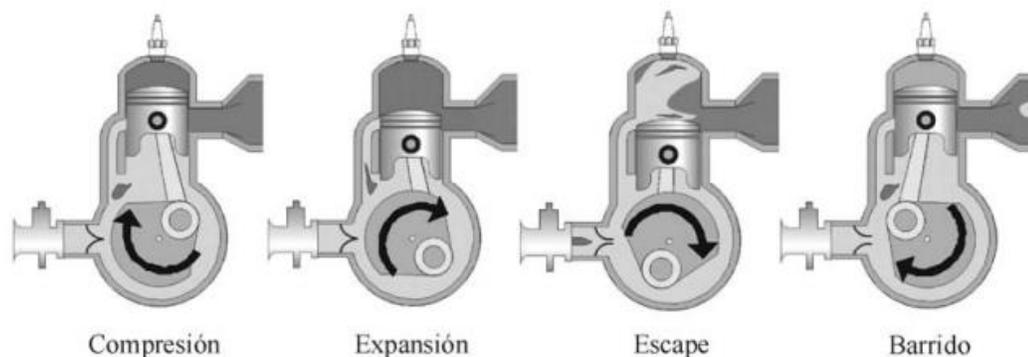
Lo ideal en la carburación es obtener un estado de la bujía en la Figura 8.1, eso indicaría que la mezcla aire/combustible se encuentra en valores óptimos, si la bujía se encuentra como en la Figura 8.2, indica que existe excesivo combustible, la bujía de la Figura 8.3 indica que se está usando demasiado aceite en la mezcla con el combustible lo que perjudica para la combustión del mismo, el estado de la bujía en la Figura 8.4 es el más severo y puede deberse a un exceso de aire ya que, cuando el motor está funcionando por largos periodos de tiempo en mezcla demasiado pobre se genera demasiado calor en la cámara de combustión lo que puede producir detonación y fusión de los electrodos de la bujía (BERU,2004).

### 2.1.4. Principio de funcionamiento del motor de 2 tiempos

Al ser un motor que, en lugar de válvulas para la entrada y salida de gases posee lumbreras, el funcionamiento va a ser un poco diferente, pero manteniendo las cuatro carreras como en cualquier motor de ciclo Otto. En la Figura 9 se observa las cuatro carreras de un motor de 2 tiempos. La lumbrera de admisión va a permitir el ingreso de mezcla al interior del cárter, el pistón se encarga de desplazar la mezcla que se aloja momentáneamente en el cárter hacia el interior de la cámara de combustión a través de la lumbrera de transferencia, cuando se lleva a cabo la combustión los gases son expulsados a través de la lumbrera de transferencia por el desplazamiento del pistón (Robinson, 1995).

**Figura 9**

*Carreras de un Motor de 2 Tiempos*



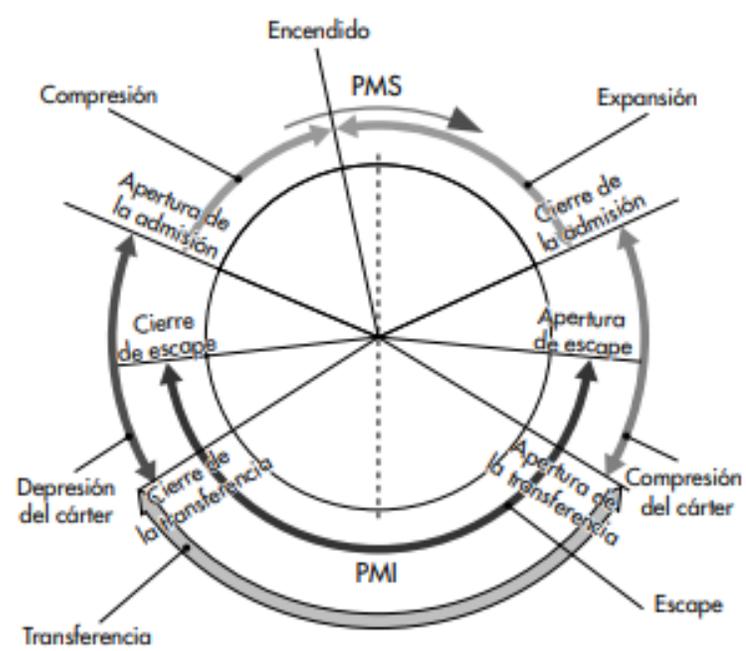
*Nota.* La figura expone las carreras de un motor de 2 tiempos. Tomado de “Clasificación de los MCIAs” por J. Benajes y E. Navarro, en F. Payri y J. Desantes Editores, Motores de Combustión interna Alternativos (p. 30), 2011, REVERTÉ.

Tomando en cuenta todas las carreras que realiza el motor, se obtiene un diagrama de distribución como se observa en la Figura 10, en donde se observa los

tiempos de apertura y cierre de las lumbreras que van a variar dependiendo del tipo de motor y del diseño de sus lumbreras (Acebes, 2007).

### Figura 10

*Diagrama de Distribución del Motor de 2 Tiempos*



*Nota.* La figura describe el diagrama de distribución del motor de 2 tiempos. Tomado de Motores (p. 360), por S. Acebes, 2007, Editex.

#### **2.1.5. Ciclo teórico de un motor de 2 tiempos.**

##### **a) Primer tiempo (admisión-compresión-explosión).**

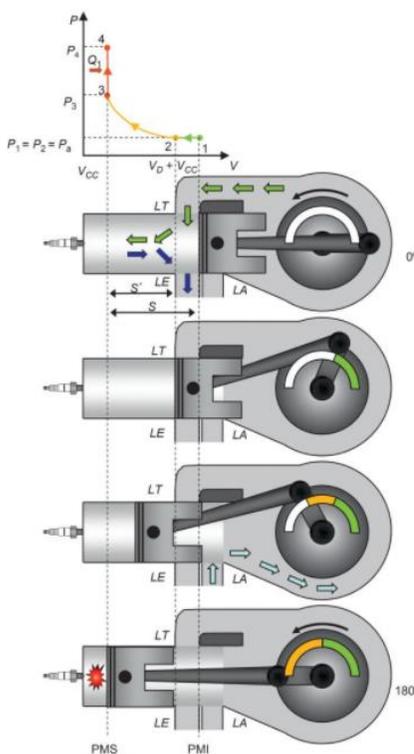
Para el primer ciclo, el pistón se encuentra en el punto muerto inferior (PMI) en la carrera ascendente al punto muerto superior (PMS), en ese tramo (1-2) de la Figura 11, la lumbrera de transferencia se encuentra descubierta y por ende, la mezcla ingresa al interior del cilindro. De manera ideal se realiza a presión constante, es decir la presión en  $p_1$  va a ser igual a  $p_2$  y estas iguales a la presión atmosférica, mientras el pistón va en ascenso, cierra la lumbrera de admisión y en ese punto se genera una

depresión en el cárter, cuando el pistón sube un poco más descubre la lumbrera de admisión y el vacío generado en el cárter hace posible el ingreso de mezcla fresca para ser usado en el siguiente ciclo (González ,2015).

En el tramo (2-3), el pistón comprime la mezcla, proceso que se lleva a cabo de manera adiabática, sin intercambio de calor con el medio, en ese instante el pistón ya ha alcanzado el PMS; a continuación, se produce el salto del arco eléctrico (3-4) aumentando la presión y temperatura en el interior del cilindro mientras que el volumen se mantiene constante (González ,2015).

### Figura 11

*Primer Tiempo (Admisión-Compresión-Explosión)*



*Nota.* La figura representa el primer tiempo de un motor de 2 tiempos que corresponde a 180° de giro del cigüeñal. Tomado de Motores Térmicos y sus Sistemas Auxiliares (Edición N° 2, p. 25), por D. González, 2015, Paraninfo.

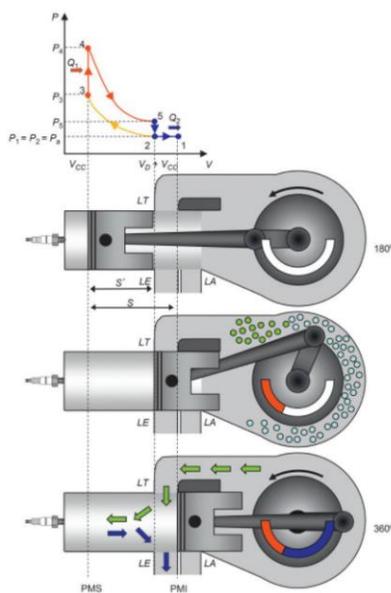
### b) Segundo tiempo (expansión-precompresión-escape-transferencia).

Al finalizar el arco eléctrico comienza inmediatamente la fase de expansión (4-5) como se observa en la Figura 12, se produce de manera adiabática, el pistón comienza a descender al PMI y la presión en el cárter aumenta por el desplazamiento del pistón, la lumbrera de escape empieza a descubrirse y existe interacción del cilindro con el medio ambiente por lo que la presión interna es igual a la presión atmosférica (5-2) (González ,2015).

La siguiente lumbrera que se descubre es la lumbrera de transferencia y debido a que en el cárter existe mayor presión que en la lumbrera de escape, los gases ingresan al cilindro y ayudan a evacuar los gases quemados del ciclo anterior, esto se conoce como barrido de gases, y se produce a presión constante (González ,2015).

### Figura 12

*Segundo Tiempo (Expansión-Precompresión-Escape-Transferencia)*



*Nota.* Tomado de Motores Térmicos y sus Sistemas Auxiliares (Edición N° 2, p. 26), por D. González, 2015, Paraninfo.

### 2.1.6. Ciclo real de un motor de 2 tiempos.

#### a) Primer tiempo (admisión-compresión-explosión).

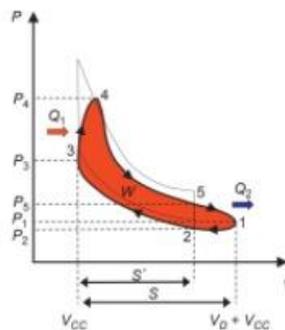
En el tramo (1-2) de la Figura 13, existe una variación con el ciclo real ya que la presión no es igual a la presión atmosférica debido a que los gases que son barridos por la mezcla fresca presentan una resistencia a ser evacuados, el tramo (2-3) correspondiente a la compresión no es adiabática ya que, si existe intercambio de calor con el medio ambiente; por último, la explosión (3-4) no se realiza a volumen constante y existen pérdidas de calor, (González ,2015).

#### b) Segundo tiempo (expansión-precompresión-escape-transferencia).

En este tiempo también existen grandes diferencias con respecto al ciclo teórico. La expansión de los gases en el tramo (4-5) de la Figura 13 no se produce de manera adiabática (sin intercambio de calor con el medio ambiente) ya que el calor generado se transfiere, en una parte, a las paredes del cilindro, esto además causa que el trabajo producido sea menor con respecto al trabajo en el ciclo teórico (González, 2015).

### Figura 13

*Ciclo Real de un Motor de 2 Tiempos*



*Nota.* Tomado de Motores Térmicos y sus Sistemas Auxiliares (Edición n° 2, p. 31), por D. González, 2015, Paraninfo.

### **2.1.7. Parámetros característicos de funcionamiento**

#### **a) Potencia y torque.**

Un motor de 2 tiempos, al igual que otros motores de combustión interna, desarrolla energía en forma de movimiento mecánico, debido a la quema de combustible, esta energía puede ser medida en términos de par motor y potencia.

El par motor de un motor de combustión interna es el resultado de multiplicar el valor correspondiente de una fuerza  $F$  que se ejerce perpendicularmente sobre un objeto posibilitado para girar sobre un eje, por una distancia  $d$  (González, 2015).

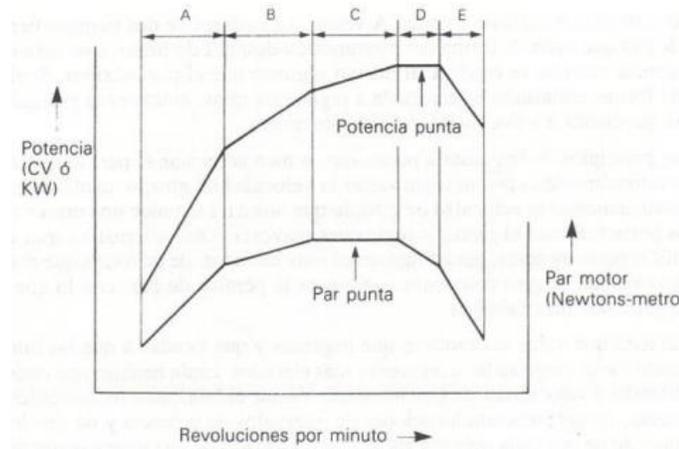
La potencia de un motor se define como el par obtenido multiplicado por el número de revoluciones en un instante determinado. Según Arbeloa Murillo (2010):

Si un motor diese el mismo par a todas las velocidades de giro, la potencia aumentaría de forma progresiva con la velocidad de giro, (C). Si el par aumenta también al aumentar la velocidad de giro, aumentará cada vez más la potencia (A y B). Si el par cae de forma suave, la potencia permanecerá constante (D) porque la pérdida de par será suplida por el aumento de velocidad de giro. Cuando el par cae más bruscamente, también bajará la potencia (E). (p. 68).

En la Figura 14 se observan cada una de las secciones mencionadas, se interpreta entonces que, a medida que el motor empieza a girar cada vez a un mayor número de vueltas por minuto, el par motor empieza a caer más bruscamente por ende también la potencia, esto sucede puesto que las lumbreras no se mantienen abiertas el tiempo necesario para permitir el ingreso y salida de gases frescos y combustionados, esto provoca la caída en la eficiencia del motor.

## Figura 14

*Gráfica Característica del Par Motor y Potencia de un Motor de Combustión Interna*



*Nota.* La figura representa la gráfica característica del par motor y potencia de un motor de combustión interna. Tomado de Puesta a Punto de un Motor 2 tiempos (p. 69), por M. Murillo, 2010.

### **b) Velocidad máxima.**

El término velocidad hace referencia al valor que relaciona el desplazamiento de un objeto en un tiempo determinado. Eso quiere decir que la velocidad debe estar expresada siempre en función del tiempo (Díaz-Solórzano y González-Díaz, 2010). La velocidad máxima no es más que la mayor velocidad alcanzada en un tramo determinado.

### **c) Consumo de combustible.**

El consumo de combustible que presenta un motor se refiere a la cantidad de kilómetros que puede desplazarse un vehículo con una determinada cantidad de combustible (km/lit). Existen diferentes factores que pueden influir en ese valor como por

ejemplo los hábitos de conducción, presión de los neumáticos, peso del vehículo, entre otros (SENER; CONUEE, 2020).

## **2.2. Sistemas de escape**

En los motores de 2 tiempos, cuando giran a un alto número de revoluciones existe mayor probabilidad de que aparezca el fenómeno llamado cortocircuito, que no es más que evacuar los gases frescos sin ser combustionados por la lumbrera de escape (teniendo en cuenta que son estos mismo los que ayuda a expulsar los gases combustionados del interior del cilindro) dando lugar a una menor eficiencia del motor (Climent y Giménez, 2011).

Para evitar que se produzca este fenómeno ha dado lugar al desarrollo de diferentes sistemas de escape que ayudan a mejorar el desempeño de este tipo de motores.

### **2.2.1. Tipos de escape**

#### **a) Tubo recto.**

Esta configuración del tubo de escape es la más simple ya que consta solamente de un tubo de sección circular unido directamente a la salida de la lumbrera de escape en el cilindro del motor de 2 tiempos. La función principal es la de dirigir los gases de escape hacia la atmosfera, la longitud de este va a depender del diseño del motor. En la actualidad esta configuración del escape ya no se utiliza ya que no brinda las ventajas como en los demás diseños (Arias-Paz, 2003).

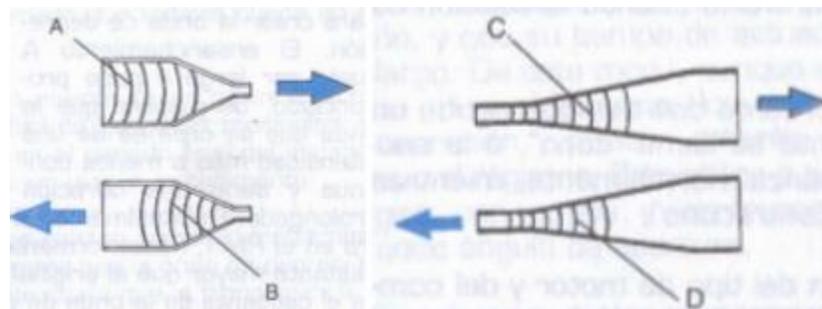
### b) Tubo de escape con cámara de expansión.

Es necesario el diseño de un sistema mucho más eficiente que contribuya con la evacuación de gases, pero al mismo tiempo que sea eficiente evitando desperdiciar mezcla fresca en el proceso de renovación de la carga. Arias-Paz (2003) establece que, para evitar que parte de la mezcla fresca salga por el conducto de escape es necesario crear una onda de presión en el escape, y dicha onda se puede crear cerrando la sección del tubo o creando un ensanchamiento.

En la Figura 15 se observa que cuando la onda de presión (A) avanza hacia la sección más estrecha se genera una nueva onda de contrapresión (B) que avanza reiteradamente al cilindro. En un momento determinado la nueva onda (C) que se crea en un nuevo tiempo de escape se encuentra con la onda de contrapresión (B) y lo que esto provoca es un empuje de retorno al cilindro (D). Esta onda de empuje retiene momentáneamente los gases evitando la salida de gases frescos por el escape en el momento en el que se cierra la lumbrera de transferencia (Arias-Paz, 2003).

#### Figura 15

*Tubo de Escape con Cámara de Expansión*



*Nota.* La figura muestra un tubo de escape con cámara de expansión. Tomado de Motocicletas Edición 32 (p. 175), por M. Arias-Paz, 2003, Dossat 2000.

### 2.3. Tuned Pipe

El escape Tuned Pipe es un sistema que trata de aprovechar las ondas de sonido - presión que genera el motor al realizar la combustión y al abrir el puerto de escape debido al movimiento del pistón, las ondas pasan a través de la pipeta con una velocidad determinada según la temperatura y la presión a la que se encuentre los gases de escape. Para aprovechar estas ondas el escape tiene una geometría diseñada específicamente para el motor usado como también para un régimen de giro determinado. (Graham, 1999). El sistema se divide en 5 partes importantes:

- La tubería inicial o colector de escape.
- Cono difusor.
- Vientre.
- Cono deflector.
- Agujón, (Semblantes & Chilibingua, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RECÁMARA DE ESCAPE “TUNED PIPE” PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS SUZUKI AX 100, 2015).

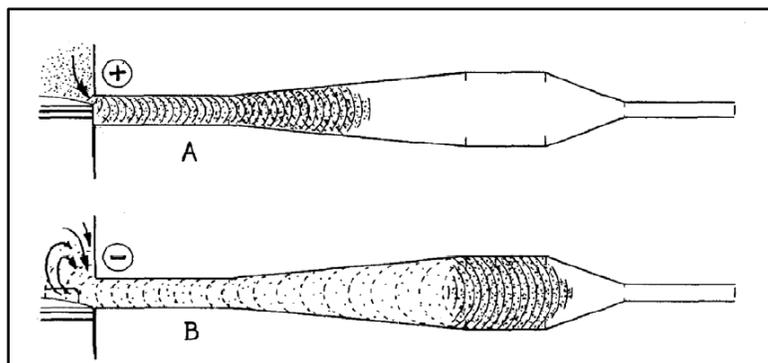
El funcionamiento de la primera zona es la de transportar los gases de escape con las ondas de sonido - presión hacia el difusor, donde se generará la primera parte del proceso de incremento de potencia del motor dos tiempos.

El difusor o también llamado megáfono tiene la función de aumentar las ondas, generando así un efecto de inercia debido a la velocidad de escape de los gases, esto forma un vacío en el escape en el motor de aproximadamente 7 psi, esto es beneficioso debido a que la mezcla de gasolina y aire fresco entra con mayor rapidez al cilindro

donde se efectuará la combustión; además, de que los gases consumidos en el anterior ciclo saldrán más rápido como se muestra en la Figura 16. Pero al generar este vacío por mucho tiempo la mezcla fresca también puede empezar a salir por el puerto de escape generando una baja eficiencia al sistema. (Jennins, 2007).

## Figura 16

### *Funcionamiento del Difusor*



*Nota.* El gráfico A representa la presión positiva generada por la salida de los gases de escape, y la parte B indica el vacío generado en el cilindro debido a la geometría del difusor. Adaptado de Tuners Handbook (p. 53), por G. Jennings, 2007, H. P. Books.

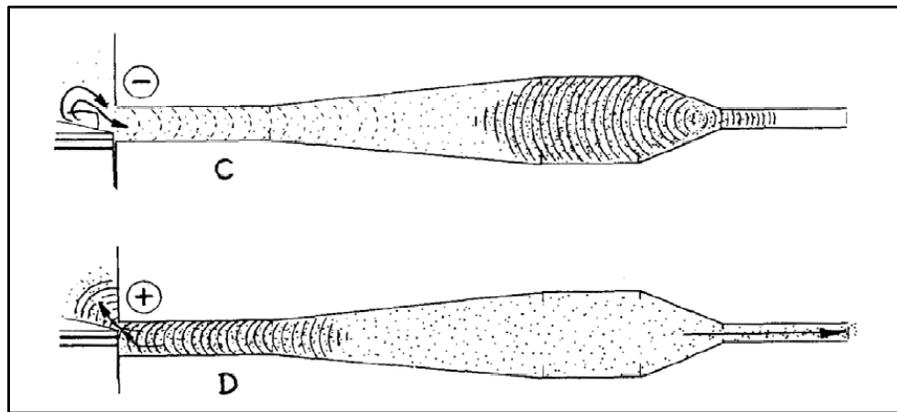
El vientre es la zona donde se mantiene el diámetro y tiene una longitud específica para que las ondas viajen en un tiempo determinado por el diseño, al reducir la longitud estas ondas viajan más rápido pero su régimen de giro es más alto, mientras que al aumentar la longitud del vientre el régimen de giros es más bajo. (SEMBLANTES & CHILQUINGA, 2015).

El cono deflector es un difusor en dirección inversa por lo que su función es la de generar una contra presión con las ondas aumentadas por el difusor, al generar esto las ondas regresan con la misma fuerza en dirección hacia el puerto del escape del motor, generando así una fuerza evitando que la mezcla fresca que antes estaba siendo

succionada vuelve a entrar forzosamente al cilindro como se demuestra en la Figura 17, aumentando así la eficiencia volumétrica y aumentando la cantidad de mezcla a quemarse. (Jennins, 2007).

### Figura 17

#### *Funcionamiento del Cono Deflector*



*Nota.* El gráfico C representa la contrapresión generada por el cono deflector, y la parte D indica la fuerza ejercida sobre la mezcla aire combustible para evitar pérdidas. Adaptado de Tuners Handbook (p. 54), por G. Jennings, 2007, H. P. Books.

El agujón se encuentra terminando el cono deflector y tiene un diámetro menor que el puerto de escape, este tiene influencia sobre la fuerza con la que se refleja la presión sobre el cono deflector, debido a que si aumenta el diámetro del agujón existe una mayor pérdida de ondas, pero al disminuir mucho este diámetro existe un sobrecalentamiento en todo el sistema de escape y esto generaría un sobrecalentamiento sobre el pistón lo que llevaría al motor a fundirse, (Semblantes & Chilingua, 2015); por lo que el agujón debe ser completamente diseñado en base al uso que se va a realizar, existe diferentes medidas para agujón de motores de competición en altos regímenes de giro como también para uso cotidiano y motores

preparados para medias revoluciones como son las motocicletas enduro. (Semblantes & Chiliquinga, 2015).

### **2.3.1. Materiales de Fabricación**

Los materiales de fabricación de un escape Tuned Pipe toma encuentra la temperatura con la que se va a encontrar trabajando el motor, además de a qué tipo de ambiente estará expuesto ya que puede haber agentes corrosivos los cuales reduzcan la vida útil del escape. (Gibson, 1996).

El colector de escape debe tener un material que soporte altas temperaturas y presiones debido a su ubicación directa al motor, además de tener resistencia a los gases producidos por la combustión, por lo que el material a seleccionar no debe reaccionar con ninguno de los materiales de los gases, además debe soportar temperaturas de hasta aproximadamente 800°C en plena carga. (Aniekan, Ejiroghene, & Abdulsamad, 2017).

El sistema de escape debe tener en cuenta estos factores para que se produzca una correcta elección de materiales al momento de construir el escape:

- Corrosión a alta temperatura (corrosión seca en caliente).
- Corrosión por condensación y sal (corrosión húmeda).
- Fallo mecánico por temperatura elevada.
- Agrietamiento por corrosión bajo tensión.
- Corrosión intergranular (Aniekan, Ejiroghene, & Abdulsamad, 2017).

Los materiales de construcción que se considera en Norte América son:

- Acero al carbono recubierto de aluminio.
- Acero inoxidable ferrítico con 12% de cromo.
- Aceros inoxidables austeníticos, (Gibson, 1996).

#### a) Acero al Carbono Recubierto de Aluminio.

El acero normalmente utilizado para construcción de escapes en la mayoría de las industrias es el ASTM 463 que en plena carga de trabajo puede resistir 500°C, teniendo aplicaciones en diferentes tipos de motores y cargas térmicas. La Tabla 3 indica las propiedades mecánicas y físicas del acero, a diferentes temperaturas de trabajo con su respectivo valor. (MATMATCH, 2021).

**Tabla 3**

*Propiedades Mecánicas y Físicas del Acero ASTM 463*

<b>Propiedades Mecánicas</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de Poisson	23,0 °C	0,29
Elongación A50	23,0 °C	26%
Límite elástico	23,0 °C	170 - 310 MPa
Módulo de cizallamiento	23,0 °C	82 GPa
Módulo elástico	23,0 °C	200 - 215 GPa
<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Valor</b>
Calor específico	23,0 °C	465 J/ (kg. K)
Coeficiente de dilatación térmica	23,0 °C	1,325e-5 - 1,385e-6 1/K
Conductividad Térmica	23,0 °C	25-93 W/ (m.K)
Temperatura de fusión		1480 -1526 °C

Propiedades Físicas	Temperatura	Valor
T. máxima de funcionamiento		500 °C

*Nota.* La tabla fue adaptada de “ASTM A463 Grado FS Aluminio recubierto por el proceso de inmersión en caliente”, por MATMATCH, 2021.

#### **b) Acero Inoxidable Ferrítico con 12% de Cromo.**

El acero inoxidable ferrítico con una composición de 12% de cromo son los Tipo 409 (UNS S40900) los cuales en la sociedad americana seria ASTM 240, proporciona una mejor resistencia a la oxidación y corrosión en comparación con acero al carbono tradicional, además debido a su bajo costo las industrias han aumentado su uso en diversas industrias tanto automotrices como no automotrices.

Tiene aplicaciones en colectores de escape, amortiguadores, convertidores catalíticos, etc. Sin embargo, este tipo de material posee menos resistencia a la corrosión que aceros con un mayor porcentaje de cromo. Las características mecánicas y físicas se encuentran en la Tabla 4. (NKS, 2021).

**Tabla 4**

*Propiedades Mecánicas y Físicas del Acero UNS S40920*

Propiedades Mecánicas	Temperatura	Valor
Limite elástico 0,2 %	23,0 °C	172 MPa
Resistencia a la tracción	23,0 °C	379 MPa
% de elongación	23,0 °C	20%
Calor específico	0 - 100 °C	477.29 J/(kg. K)
Coefficiente de dilatación térmica	0 - 100 °C	5,84e-6 in/F

<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Valor</b>
Conductividad Térmica	23,0 °C	24.90 W/(m.K)
T. máxima de funcionamiento		787.7778 °C

*Nota.* La tabla fue adaptada de “ACERO INOXIDABLE 409”, por NKS, 2021.

### **c) Aceros inoxidables austeníticos.**

Los aceros austeníticos tienen una conformación de cromo de 18% en promedio además de tener níquel al 8%, porque sus aplicaciones van desde intercambiadores de calor con una temperatura constante, además de utensilios de cocina debido a su resistencia a la corrosión y oxidación. El acero 304 tiene resistencia a la oxidación a una temperatura constante de 1650°F (898.89 °C), (NKS, 2021) Las características mecánicas y físicas se encuentran en la Tabla 5.

Además, debido a sus tratamientos de conformación tiene resistencia a la corrosión atmosférica de ácidos nítrico, cítrico, etc.; tiene resistencia a petróleo curado o refinado, teniendo en cuenta su temperatura de servicio máximo de 880°C cuando se trabaja constantemente y 815°C en usos intermitentes del sistema. (IIRSACERO, 2021).

### **Tabla 5**

*Propiedades Mecánicas y Físicas del Acero SAE 304*

<b>Tipo</b>	<b>Límite Elástico 0,2 % (KSI)</b>	<b>Resistencia a la tracción (KSI)</b>	<b>% de elongación (longitud calibre de 2")</b>
SAE 304	30 mín.	75mín.	40 mín.

<b>Propiedad</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Valor</b>
Densidad (libra/ pulg."2) a RT		0,29
Módulo de elasticidad en tensión (psi x 10e6)		28
Calor específico (BTU/o F/libra)	32a 212 °F (0 a 100°C)	0,12
Conductividad térmica (BTU/h/pies e2 /Pie)	212 °F	9,4
	932°F (500 °C)	12,4
Coeficiente promedio de expansión térmica (pulg. X 10e-5 por °F)	32a 212 °F (0 a 100°C)	9,2
	32a 600 °F (0 a 316°C)	9,9
	32a 1000 °F (0 a 538°C)	10,2
Rango de punto de fusión (°C)		1400
<b>Propiedad</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Valor</b>
Resistencia a la oxidación: Servicio continuo (°C)		900
Resistencia a la oxidación: Servicio intermitente(°C)		815

*Nota.* La tabla fue adaptada de ACEROS INOXIDABLE 304 Y 304L, por NKS, 2021.

### **2.3.2. Ventajas**

El sistema de escape Tuned Pipe en diferentes motores dos tiempos no solo mejora su rendimiento, potencia y torque; si no que también, reduce el uso de combustible además de cumplir las normativas de ruido necesarias en cada país.

(Gustafsson R., 2006) Existe una reducción en costes de producción, esto es debido a que existe un downsizing de los motores, es decir los motores no necesitan tener tanta cilindrada para tener la misma potencia, esto debido al uso del Tuned Pipe, pero no solo se reduce el peso y tamaño, se reduce las vibraciones destructivas que genera el motor. (Gustafsson, Blair, & Jonsson, 2001).

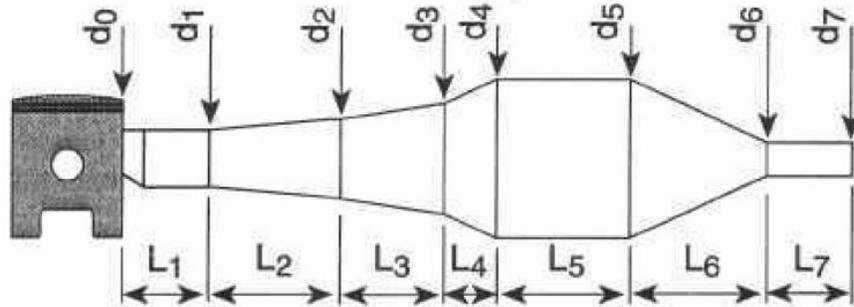
Este sistema de escape poco convencional está empezando a adaptarse a las industrias de maquinarias utilizadas en el hogar o a pequeña escala, debido a que cumple las normas de hidrocarburos además de generar mejor funcionamiento en específico régimen de giro de trabajo. (Zsiga, Kerres, Bach, & Fuoss, 2010).

### **2.3.3. Cálculos de diseño**

Los cálculos de construcción del sistema de escape inician con la determinación de la velocidad a la que se encuentra la onda de sonido - presión que sale del motor. La geometría interna del sistema de escape se indica en la Figura 18, teniendo los valores de diámetros y longitudes repartidos en diferentes secciones.

**Figura 18**

*Referencias de Medidas del Tuned Pipe*



*Nota.* Tomado de Design and Simulation of TWO STROKES ENGINES (p. 372), por G. P. Blair, 1996, Society of Automotive Engineers Inc.

Las siguientes fórmulas fueron tomadas de (Blair, 1996).

$$a_t = \sqrt{\gamma R(T + 273.15)}$$

### **Ecuación 1**

*Velocidad Acústica – Presión*

Donde:

$\gamma$  = radio específico del calor, Tabla 6.

$R = 287 \frac{J}{Kg \cdot K}$  = Constante de los gases.

$T$  = Temperatura promedio del medio de propagación de la onda sonora °C.

$\alpha_t$  = Velocidad acústica a determinada temperatura.

**Tabla 6***Radio Especifico de Calor*

<b>T= 500K</b>		<b>T= 1000K</b>	
<b>AFR</b>	$\gamma$	<b>AFR</b>	$\gamma$
13	1,362	13	1,317
15	1,35	15	1,307
17	1,352	17	1,31

*Nota.* AFR es la definición de mezcla rica en 13 hasta mezcla pobre en 17. La tabla fue adaptada de Design and Simulation of TWO STROKES ENGINES, 1996, Society of Automotive Engineers, Inc.

Para el cálculo de la longitud total del escape Tuned Pipe se utiliza la ecuación 2, esta longitud se basa solo en la zona de resonancia de las ondas acústicas y presión por lo que no se toma en cuenta el agujón.

$$L_T = \frac{83.3a_t\theta_{ep}}{rpm}$$

**Ecuación 2***Longitud Total del Sistema*

Donde

$L_T$  =Longitud total del sistema de escape.

$\theta_{ep}$  = Duración del período total de escape.

Una vez calculada la longitud total se procede a realizar el cálculo de todas las longitudes de las secciones de la pipeta de escape.

Cálculo de la Longitud de la sección 1:

$$L_1 = 0.1L_T$$

**Ecuación 3**

*Longitud Sección 1*

Cálculo de la Longitud de la sección 2:

$$L_2 = 0.275L_T$$

**Ecuación 4**

*Longitud Sección 2*

Cálculo de la Longitud de la sección 3:

$$L_3 = 0.183L_T$$

**Ecuación 5**

*Longitud Sección 3*

Cálculo de la Longitud de la sección 4:

$$L_4 = 0.092L_T$$

**Ecuación 6**

*Longitud Sección 4*

Cálculo de la Longitud de la sección 5:

$$L_5 = 0.11L_T$$

**Ecuación 7**

*Longitud Sección 5*

Cálculo de la Longitud de la sección 6:

$$L_6 = 0.24L_T$$

**Ecuación 8**

*Longitud Sección 6*

Cálculo de la Longitud de la sección 7:

$$L_7 = L_6$$

**Ecuación 9**

*Longitud Sección 7*

Calculado las respectivas longitudes se procede a realizar el cálculo de los diámetros de cada sección. Primero se calcula el diámetro 1 y diámetro 4 los cuales serán utilizados para sacar factores para el cálculo de los diámetros 2 y 3.

$$d_1 = k_1 d_0$$

### **Ecuación 10**

*Diámetro 1 del Sistema de Escape*

Donde:

$k_1$  = Constante 1.125 para motores enduro, 1.05 para motores de competición.

$d_0$  = Diámetro del puerto de escape.

El cálculo del diámetro 4 del sistema tiene el mismo valor que el diámetro 5, debido a que es una zona lineal en el diseño.

$$d_4 = k_2 d_0 = d_5$$

### **Ecuación 11**

*Diámetro 4 del Sistema de Escape*

Donde:

$k_2$  = Constante 2.125 para motores enduro, 3.25 para motores competición.

Una vez determinado los dos diámetros se procede a realizar el cálculo de las variables necesarias para el cálculo del diámetro 2 y 3.

$$x_{12} = \left( \frac{L_2}{L_2 + L_3 + L_4} \right)^{k_h} * \log_e \left( \frac{d_4}{d_1} \right)$$

**Ecuación 12***Factor de Cálculo x12*

$$x_{13} = \left( \frac{L_2 + L_3}{L_2 + L_3 + L_4} \right)^{k_h} * \log_e \left( \frac{d_4}{d_1} \right)$$

**Ecuación 13***Factor de Cálculo x13*

$$1.25 < K_h < 2.0$$

**Ecuación 14***Factor de Calculo Kh, Seleccionado por Diseñador*

$$d_2 = d_1 * e^{x_{12}}$$

**Ecuación 15***Diámetro 2 del Sistema Escape*

$$d_3 = d_1 * e^{x_{13}}$$

**Ecuación 16***Diámetro 3 del Sistema de Escape*

El diámetro 5 viene a ser el mismo que el diámetro 4 debido a que se encuentra en una zona constante. Del mismo modo el diámetro 6 y 7 tienen relación al ser la zona del agujón constante, se utiliza los valores de Tabla 7.

**Tabla 7**

*Calculo Diámetro 7*

<b>Aplicación del motor</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Número</b>
Carrera en pista	$d_7 = 0.6d_0 = d_6$	Ecuación 17
Motocross	$d_7 = 0.65d_0 = d_6$	<i>Diámetro 7 del Sistema</i>
Enduro	$d_7 = 0.67 = d_6$	<i>de Escape</i>

*Nota.* La tabla fue adaptada de Design and Simulation of TWO STROKES ENGINES, 1996, Society of Automotive Engineers, Inc.

#### **2.3.4. Aplicaciones**

El sistema de escape Tuned Pipe aporta una gran alternativa para lo que es el tema de preparación de motores, sin tener que realizar un cambio que afecte la vida útil del motor, mejorando de esta forma las prestaciones y características básicas de un motor, de esta manera se logra incrementar potencia y torque. (Semblantes & Chiliquinga, 2015).

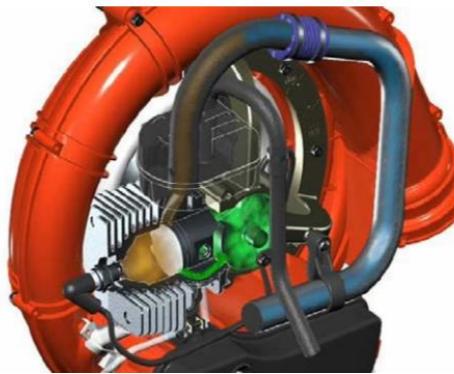
La utilización del sistema Tuned Pipe en diferentes maquinarias de uso doméstico como pueden ser motosierras, podadoras, etc. mejora significativamente la potencia, pero al estar diseñados para un régimen de trabajo también reduce el uso de combustible del equipo de trabajo, además de disminuir y entrar en la normativa de emisiones. La ventaja de estos diseños de escape para sistemas de carburador simples

mejora y optimiza la fabricación en cuanto a costo y a volumen de producción. (Gustafsson R. , 2006).

Esto sucede en los estudios prototipos, pero al realizarlo a gran escala mejora todo significativamente como se realizó con un soplador H356BT, Figura 19.

### **Figura 19**

*Soplador H356BT*



*Nota.* Tomado de A Practical Application to Reduce Exhausts Emissions on a Two-Stroke Engine with a Tuned Exhaust Pipe (p. 4), por R. Gustafsson, 2006, SAE Technical Paper Series.

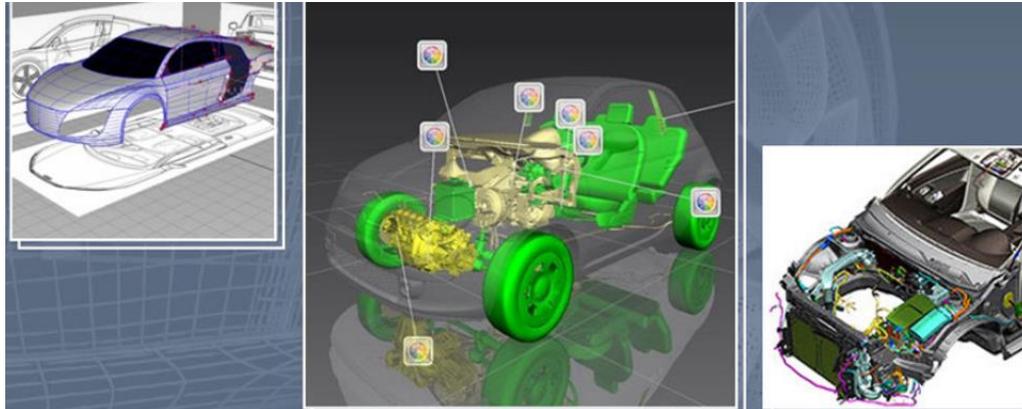
## **2.4. Diseño e Ingeniería asistida por computadora**

### **2.4.1. Diseño asistido por computador (CAD)**

El diseño asistido por computadora CAD se define como el proceso para crear, modificar y analizar representaciones tridimensionales o bidimensionales en un software para evitar el uso de prototipos físicos de un producto a desarrollarse como se muestra en la Figura 20. Tiene aplicaciones en el diseño industrial como también en los diseños de productos. Reduce costos de desarrollo de productos como asegura la calidad con la que culmina un producto. (SIEMENS, 2021).

## Figura 20

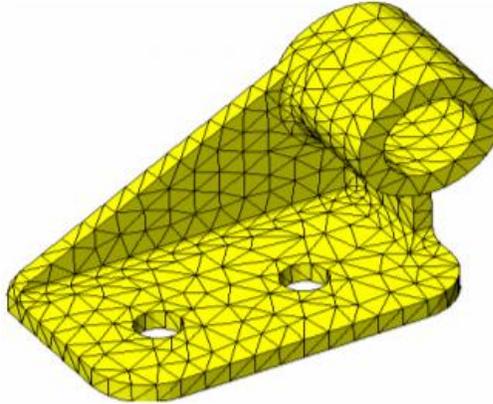
### Uso de CAD



*Nota.* Tomado de “CAD for Automotive Industry”, por POLOSOFT TECHNOLOGIES, 2021 (<https://www.polosoftech.com/industries/cad-automotive/>)

### 2.4.2. Ingeniería asistida por computadora (CAE)

La ingeniería asistida por computadora tiene como objetivo simular un producto o diseño a condiciones reales, con el fin de analizar errores en la forma geométrica como también errores al seleccionar material, todas las pruebas se consideran estudios no destructivos debido a que no existe un modelo físico, además estos estudios tienen respuestas de gran confiabilidad mientras más información de la realidad se aplique al software. Para realizar una simulación el sólido a calcular se divide en un número finito de elementos a los cuales se realiza un cálculo individual y en conjunto dando un resultado de cómo se comportará todo el producto en condiciones “reales” como se observa en la Figura 21, pero existen muchos errores en las soluciones si existe un mal manejo de la geometría de los volúmenes finitos como si existe una mala interpretación de las condiciones de frontera, (Rojas & Rojas, 2006).

**Figura 21***Elementos Finitos*

*Nota.* Tomado de Diseño asistido por computador, (p. 7), por O. Rojas y L. Rojas, 2006, Diseño y Tecnología.

**2.4.3. Análisis fluido dinámico computarizado (CFD)**

La dinámica de fluidos computacional es el estudio numérico de flujos de diferentes fluidos, transferencias de calor y fenómenos químicos y acústicos, etc. El CFD se basa en el estudio de la mecánica de fluidos a partir de fórmulas de métodos numéricos. Para realizar el cálculo de algún producto primero se debe realizar un método de elementos finitos o uno de volúmenes finitos, siendo este último mayormente utilizado en los análisis de fluidos indicado en la Figura 22. (EQUIPE ESSS, 2016).

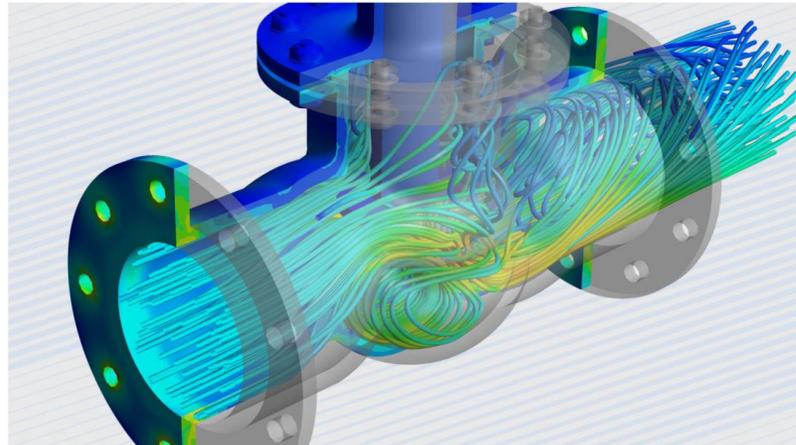
Las aplicaciones del CFD son:

- Simular hemodinámica e Hidrodinámica.
- Evaluar la refrigeración de sistemas.
- Analizar la aerodinámica de los productos.

- Analizar el movimiento del fluido a través de un volumen de estudio, determinando datos de velocidad y presión.

## Figura 22

*Análisis de un Flujo CFD*



*Nota.* Tomado de “Dinámica de Fluidos Computacional: ¿qué es?”, por EQUIPE ESSS, 2016 (<https://www.esss.co/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>)

### 2.5. Soldadura

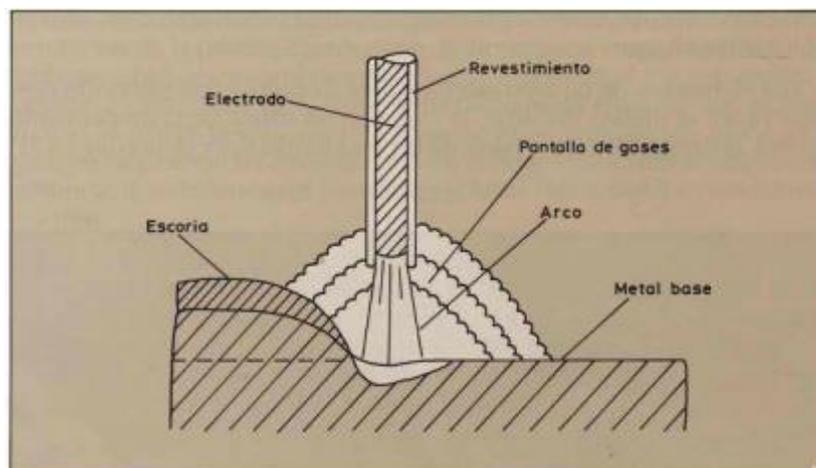
Existen diferentes procesos y tipos de soldaduras, cada una con sus principales ventajas con respecto a las otras y dependiendo también del material y aplicación que se le vaya a dar a la pieza o elemento metálico que se esté elaborando. Entre los procesos más utilizados están: Soldadura por electrodo revestido indicado en la Figura 23, soldadura por arco con gas de protección (MIG) mostrado en la Figura 24 y soldadura de arco con gas de protección con electrodo de tungsteno (TIG) como se observa en la Figura 25 (Indura, 2007). Indicado en la Tabla 8.

**Tabla 8***Procesos de Soldadura*

<b>DESIGNACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
SOLDADURA POR ELECTRODO REVESTIDO	-Proceso económico -Amplia utilización en diferentes materiales -Permite soldar en diferentes posiciones (Molera Solá, 1992).
SOLDADURA POR ARCO CON GAS DE PROTECCIÓN (MIG)	-Electrodo consumible de alambre-Puede usar con cualquier material y cualquier espesor -Genera poca escoria y menor chispa que el proceso con electrodo revestido -Mayor productividad por el aporte continuo del material (Riesco et al., 1966).
SOLDADURA POR ARCO CON GAS DE PROTECCIÓN CON ELECTRODO DE TUNGSTENO (TIG)	-Electrodo de tungsteno no consumible -Ideal para soldar material de espesor delgado -No genera escoria ni chispas -Puede usarse con o sin aporte de material (Indura, 2007).

### Figura 23

#### *Soldadura de Arco con Electrodo Revestido*

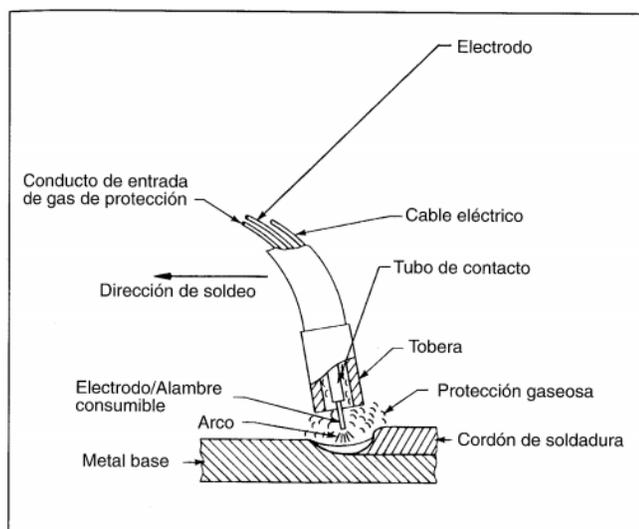


*Nota.* La figura representa el proceso de soldadura de arco con electrodo revestido.

Tomado de Soldadura Industrial: Clases y Aplicaciones (Vol. N°56, p. 24), por P. Molera Solá, Marcombo.

### Figura 24

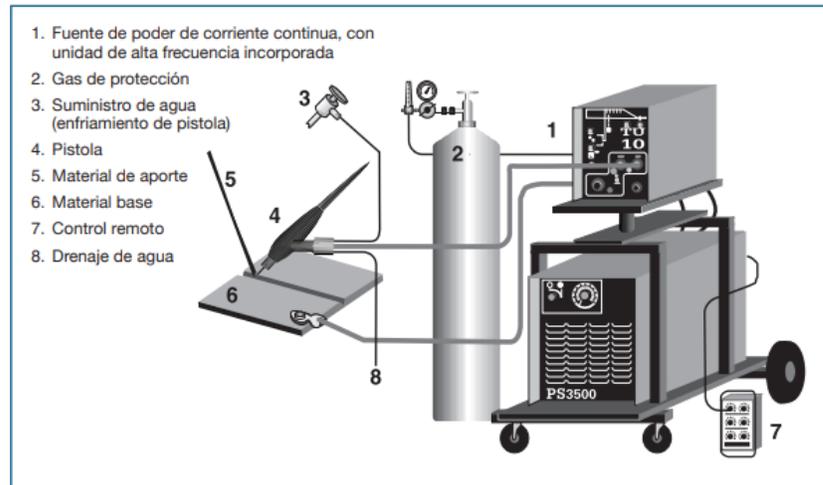
#### *Soldadura por Arco con Gas de Protección (MIG)*



*Nota.* La figura representa el proceso de soldadura por arco con gas de protección (MIG). Tomado de Manual del soldador (p. 291), por G. Riesco et al, 1966, Cesol.

## Figura 25

### Soldadura de Arco con Gas de Protección con Electrodo de Tungsteno (TIG)



*Nota.* Tomado de Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura (p. 122), por Indura, 2007.

## 2.6. Pruebas de desempeño

### 2.6.1. Pruebas dinamométricas

Una prueba dinamométrica es el estudio de la energía generada por un motor, esto se realiza mediante el uso de dinamómetros, estas determinan el torque y la potencia del motor a diferentes regímenes de giro. Los componentes de un dinamómetro son el marco, montajes de motor, unidad de absorción de energía, y aparato de medición del torque. El dinamómetro trata de simular condiciones reales permitiendo el motor funcione por intervalos de tiempo extensos además de utilizar régimen de giro máximo para el estudio. (Hernández V. , 2007).

El dinamómetro se puede acoplar directamente al motor o a las llantas del vehículo a estudiar, por lo que dependerá del tamaño del dinamómetro como de la geometría del vehículo para realizar el estudio. (Spiegato, 2021).

### 2.6.2. Pruebas de velocidad

Esta prueba se la realiza con el uso de un velocímetro, el cual es una herramienta que permite medir la velocidad a la que se encuentra un vehículo en movimiento, existen diferentes tipos de velocímetros que vienen integrados como sistemas de seguridad para el piloto en un vehículo, como también existen velocímetros externos que utilizan sensores como también GPS en caso de los celulares móviles. Esta prueba se realiza a fin de obtener la velocidad máxima que puede obtener un vehículo a máximos regímenes de giro. (Echaveguren, Díaz, & Arellano, 2013).

### 2.7. Normativa

Para la construcción, implementación y pruebas se realiza un análisis a la normativa impuesta por la CIK-FIA que se resume en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Normativa CIK-FIA*

<b>Propiedad</b>	<b>Característica</b>
Altura del escape	La salida del escape no puede estar a más de 45 cm del suelo
Ruido del escape	El ruido se medirá a 2.5 metros de altura desde el suelo y se realiza la medición que no puede ser superior a los 108 dB

*Nota.* La tabla fue adaptada de *KARTING TECHNICAL REGULATIONS por CIK-FIA, 2021.*

## Capítulo III

### 3. Diseño y Simulación

#### 3.1. Cálculo del sistema

Para realizar el cálculo del sistema de escape Tuned Pipe es necesario los datos del motor que se va a utilizar. Se realizó la selección de un motor Suzuki AX 100 que se encuentra en el Karting de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga. Seleccionado el motor se efectúa un estudio de la ficha técnica determinando los valores de importancia para los cálculos, los valores de la ficha se indican en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Ficha Técnica del Motor Suzuki AX 100*

CARACTERÍSTICA	DETALLES
MOTOR	Mono cilíndrico, 2 tiempos, refrigerado por aire
CILINDRADA	98 cc
POTENCIA	
MÁXIMA	10 Cv a 7500 rpm
ALIMENTACIÓN	Carburador
ARRANQUE	Pedal
TRANSMISIÓN	4 velocidades
ENCENDIDO POR	
MAGNETO	N/D

*Nota.* La ficha técnica fue adaptada de Suzuki AX 100 Special Ficha Técnica, Motos 0km, s. f.

Además, se realiza la medición de los datos adicionales que hacen falta para el cálculo del sistema de escape teniendo los valores en la Tabla 11.

**Tabla 11**

*Medición de Datos Adicionales*

CARACTERÍSTICA	DETALLES	FIGURA
	280 °C	
TEMPERATURA EN EL ESCAPE	553.15 K	Figura 26
GRADOS DE DURACIÓN DEL ESCAPE	170 °	Figura 27

**Figura 26**

*Temperatura Inicial del Escape*



*Nota.* La medición de la temperatura se realizó con un termómetro laser apuntando a la zona del escape.

**Figura 27***Medición de Duración del Ciclo de Escape*

Se realizó la medición de duración del ciclo de escape donde se obtuvo un ciclo de 170° de duración en el tiempo de escape.

En la Tabla 6, existe valores de radio de calor específico para diferentes temperaturas de trabajo y operación. Se procede a determinar el radio de calor específico  $\gamma$  a partir de la interpolación de la temperatura obtenida y el valor de AFR 13 debido al mayor uso de combustible en la mezcla para mayor potencia del motor.

$$\frac{1000 \text{ K} - 553.15 \text{ K}}{1000 \text{ K} - 500 \text{ K}} = \frac{1.317 - \gamma}{1.317 - 1.362}$$

$$\gamma = 1.357$$

Con los valores de la ficha técnica del motor y los obtenidos de las respectivas mediciones se obtiene la Tabla 12 que muestra los valores necesarios para la construcción del Tuned Pipe.

**Tabla 12***Datos de Cálculo del Sistema Tuned Pipe*

<b>Propiedad</b>	<b>Nombre</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
γ	Radio específico de calor	1,357	
R	Constante de los gases	287	J/(Kg*K)
T	Temperatura	280	°C
	Duración del período total		
θep	del escape	170	°
rpm	Régimen de giro	7500	RPM
d0	Diámetro inicial	33	mm
	Constante para motores de		
k1	competición	1,05	
	Constante para motores		
k2	competición	3,25	
kh	Factor de cálculo	1,625	

*Nota.* La tabla indica los valores necesarios para el cálculo del sistema de escape Tuned Pipe, si la propiedad expuesta no tiene unidad, se interpreta que es un valor adimensional.

Aplicando la Ecuación 1 con los valores de radio específico de calor de 1.357, constante de los gases de 287 J/(Kg\*K) y una temperatura de trabajo de 280°C se obtiene el valor de la velocidad acústica – presión:

$$a_t = \sqrt{\gamma R (T + 273.15)}$$

$$a_t = \sqrt{(1.357)(287)(280 + 273.15)}$$

$$a_t = 464.144 \frac{m}{s}$$

Con el valor de la velocidad acústica – presión de 464.144 m/s y con los valores de duración del período de escape de 170° y un régimen de giro de 7500 RPM aplicando se obtiene la longitud total del sistema especificado en la Ecuación 2.

$$L_T = \frac{83.3a_t\theta_{ep}}{rpm}$$

$$L_T = \frac{83.3(464.144)(170)}{(7500)}$$

$$L_T = 876.365 \text{ mm}$$

### 3.1.1. Cálculo del Difusor de Entrada y Vientre

Para el cálculo del difusor de entrada y vientre se tiene en cuenta el resultado de la longitud total propuesta. A partir de la longitud total del sistema se obtiene las longitudes de las secciones del sistema mostradas en la Tabla 13, para el cálculo es necesario las ecuaciones 3 a 7.

**Tabla 13**

*Cálculo de las Longitudes del Difusor de Entrada y Vientre*

Propiedad	Resultado	Unidades	Ecuación
Longitud sección 1	87,64	mm	Ecuación 3
Longitud sección 2	241	mm	Ecuación 4
Longitud sección 3	160,37	mm	Ecuación 5
Longitud sección 4	80,63	mm	Ecuación 6
Longitud sección 5	96,4	mm	Ecuación 7

Se realiza la aplicación de las ecuaciones de cálculo de diámetro de la zona del difusor y el vientre, ecuaciones 11 a 16, los valores utilizados para los cálculos son diámetro del puerto de escape de 33 mm, una constante k1 de 1.05, constante k2 de 3.25 y constante kh de 1.625, se obtiene los resultados indicados en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Cálculo de Diámetros del Difusor de Entrada y Vientre*

Propiedad	Resultado	Unidades	Ecuación
Diámetro 1	34,65	mm	Ecuación 10
Diámetro 4	107,27	mm	Ecuación 11
x12	0,3663	mm	Ecuación 12
x13	0,8393	mm	Ecuación 13
Diámetro 2	49,97	mm	Ecuación 15
Diámetro 3	80,19	mm	Ecuación 16
Diámetro 5	107,27	mm	Ecuación 11

### **3.1.2. Cálculo del Difusor de Salida y Agujón**

Para el cálculo del difusor de salida y agujón se tiene en cuenta los valores de la longitud total de 876.365 mm y el diámetro de puerto inicial de 33 mm.

Aplicando Ecuación 8 y Ecuación 9 se determina la longitud de sección 6 y 7 respectivamente.

$$L_6 = 210.33 \text{ mm}$$

$$L_7 = 210.33 \text{ mm}$$

Se aplica la Ecuación 17 utilizado para motores en carreras de pista, determinando el valor del diámetro 7, este valor se lo representa como diámetro 6 debido a que la zona del agujón es constante.

$$d_6 = 23.1 \text{ mm}$$

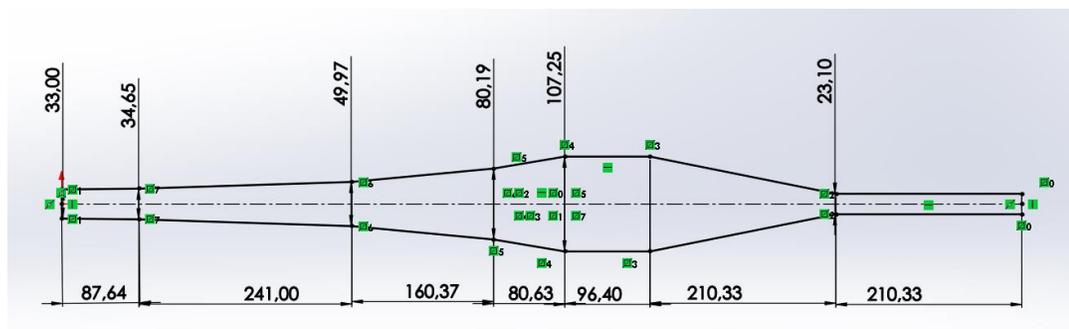
$$d_7 = 23.1 \text{ mm}$$

### 3.2. Diseño

Utilizando los valores de las medidas determinadas de los difusores de entrada y salida respectivamente se puede realizar el primer diseño del sistema Tuned Pipe de manera lineal representado en la Figura 28.

**Figura 28**

*Diseño del Sistema de Escape Tuned Pipe Lineal*



*Nota.* La figura representa de manera lineal la geometría interna del sistema de escape Tuned Pipe.

#### 3.2.1. Modelado

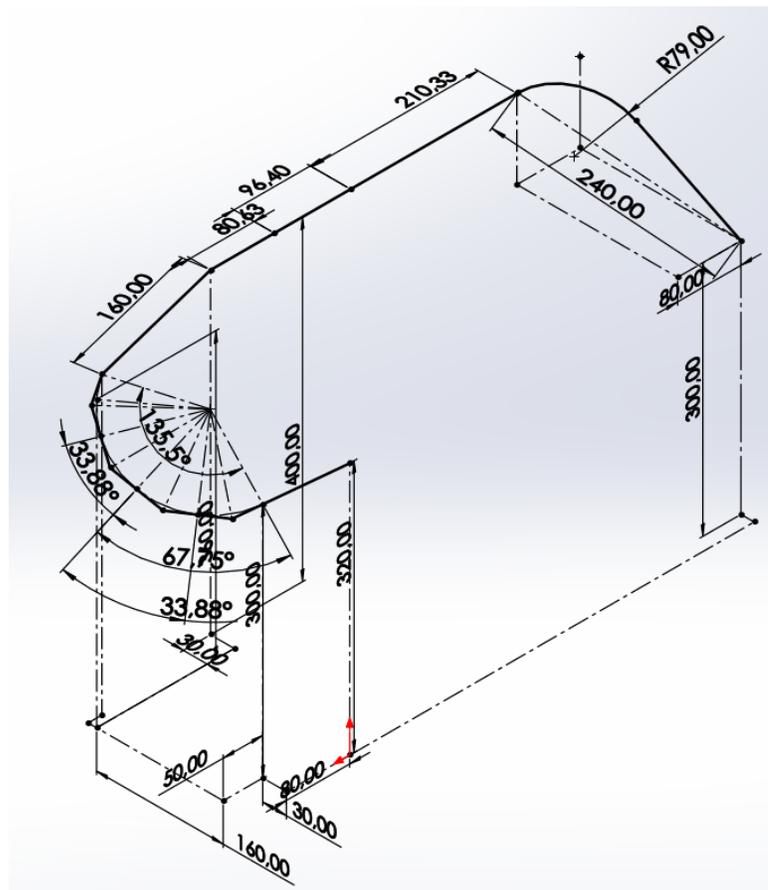
Cuando el sistema lineal se encuentra diseñado se procede al modelado del sistema, por lo que se realiza medidas del Karting para analizar la ubicación correcta del sistema de escape sin que llegue a interferir con alguna otra zona mecánica del vehículo.

Todas las medidas se realizan desde el suelo para mayor precisión, a continuación, se analiza la geometría del sistema de escape.

Con estas medidas se procede a convertir del diseño lineal a uno que se acople al Karting; por lo que se realiza curvas en el trayecto y de la misma forma se diseña todas las zonas para generar conos para su posterior construcción en plancha de acero indicado en la Figura 29.

### Figura 29

*Croquis 3D de Medidas de la Trayectoria del Sistema de Escape*



*Nota.* El croquis se generó a partir de medidas del karting y la posible trayectoria del sistema de escape Tuned Pipe sin interferir en otros sistemas del vehículo de competición.

Con la finalidad de comprobar la correcta transformación y su acople al karting bajo estudio se procede a construir un prototipo rápido en cartón para validar la ubicación y acople del sistema de escape al karting, como se muestra en la Figura 30.

### Figura 30

*Prototipo Rápido en Cartón*



*Nota.* La figura representa el prototipo rápido de cartón utilizado para comprobar si la trayectoria del escape no influye en otros sistemas del Go Kart.

Una vez validado con el prototipo rápido se realiza la ubicación de los diámetros y se genera el modelado de todo el sistema con su respectiva base, utilizando software de diseño CAD como se indica en la Figura 31.

### Figura 31

*Modelado del Sistema Real*



*Nota.* La figura representa el modelado 3D del sistema de escape Tuned Pipe.

Generado el modelo 3D del sistema de escape se realiza las respectivas simulaciones mecánicas para la selección del espesor.

### 3.3. Simulación

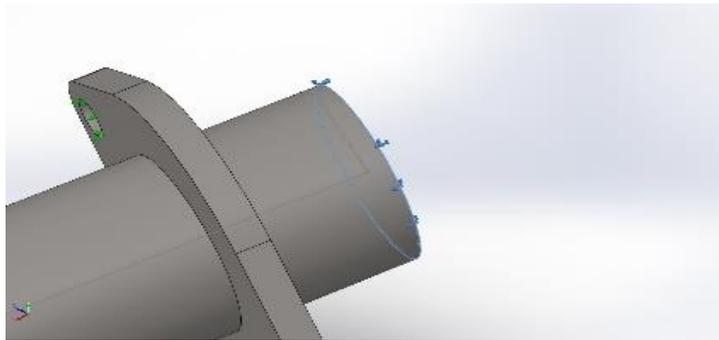
Para realizar las diferentes simulaciones se utiliza los programas de ingeniería para los estudios estático, frecuencia y fluidos dinámicos. Además, los estudios estáticos y de frecuencia se realizará con un espesor de 0.7 mm y de 1 mm determinando el mejor espesor para el proceso de construcción. Todos los espesores se realizan con acero AISI 304 debido a su mayor resistencia a la corrosión a diferentes ácidos y sales, además de su alta resistencia térmica en ciclos de trabajo continuos.

Para la simulación estática y de frecuencia se utilizará las mismas sujeciones en estos casos, de esta manera se realizará un análisis acercado a la realidad, además se toma en cuenta el material de selección en el software con sus propiedades enumerados en la Tabla 15.

La sujeción fija del escape se define en la sección del acople con el motor, como se muestra en la Figura 32.

#### Figura 32

*Sujeción Fija del Modelo*

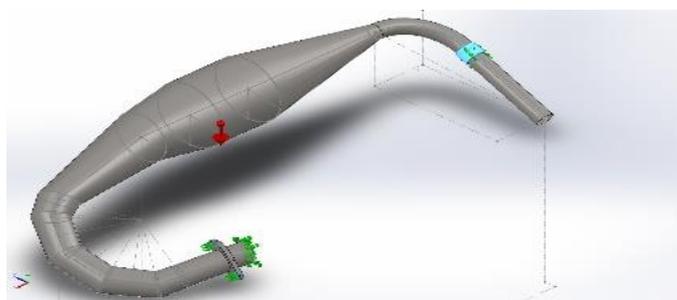


*Nota.* La sujeción fija en el acople del motor.

Las sujeciones de rodillo o control deslizante se ubicarán en la zona empernada de la brida al motor, como también la brida adaptada de implementación en la zona del agujón como se muestra en la Figura 33.

### Figura 33

*Sujeción de Rodillo o Control Deslizante del Modelo*



*Nota.* Ubicación de las sujeciones de control deslizante o rodillo.

### Tabla 15

*Propiedades del Material AISI 304 en el Software*

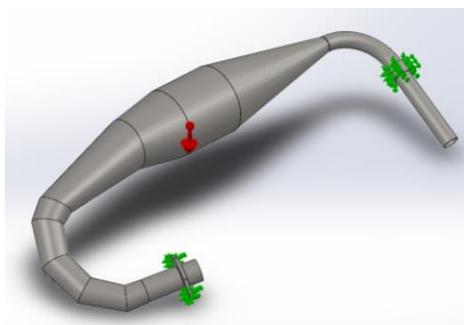
<b>Nombre:</b>	<b>Propiedad</b>
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Límite elástico:	2,06807e+08 N/m <sup>2</sup>
Límite de tracción:	5,17017e+08 N/m <sup>2</sup>
Densidad:	8.000 kg/m <sup>3</sup>
Módulo elástico:	1,9e+11 N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson:	0,29
Coefficiente de dilatación térmica:	1,8e-05 /Kelvin

Obtenido los parámetros iniciales se procede a aplicar la carga que soportara el sistema de escape. El Tuned Pipe solo debe soportar su propio peso, por lo que la

única carga aplicada es la de gravedad en los estudios estáticos y de frecuencia, como se indica en la Figura 34.

### Figura 34

*Carga Aplicada en el Sistema de Escape Tuned Pipe*



*Nota.* En la figura las flechas indicativas de color verde son las zonas de sujeciones, y la flecha indicativa de color rojo es la carga de gravedad aplicado al diseño.

Ingresado todos los parámetros necesarios para los diferentes estudios y simulaciones se procede a realizar un mallado general en todo el diseño, se ingresa características de la malla indicados en la Tabla 16, y su interpretación por el software se encuentra en la Figura 35.

### Tabla 16

*Información y Propiedades del Mallado*

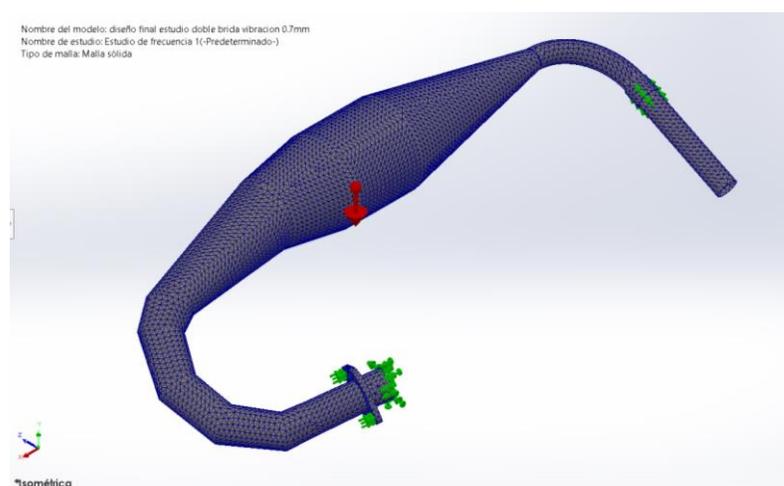
Propiedad	Observación o característica
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla estándar
Tamaño de elementos	5,69583 mm
Tolerancia	0,284791 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos

Propiedad	Observación o característica
Número total de nodos	94535 (0.7 mm)
	124964 (1 mm)
Número total de elementos	51146 (0.7 mm)
	73536 (1 mm)
Porcentaje de elementos distorsionados	0

*Nota.* El tamaño de elemento es seleccionado por el diseñador, y las demás propiedades son valores del software de ingeniería.

### Figura 35

#### *Mallado del Sistema Tuned Pipe*



*Nota.* La figura representa el mallado del modelado del sistema de escape Tuned Pipe.

#### **3.3.1. Simulación Estática**

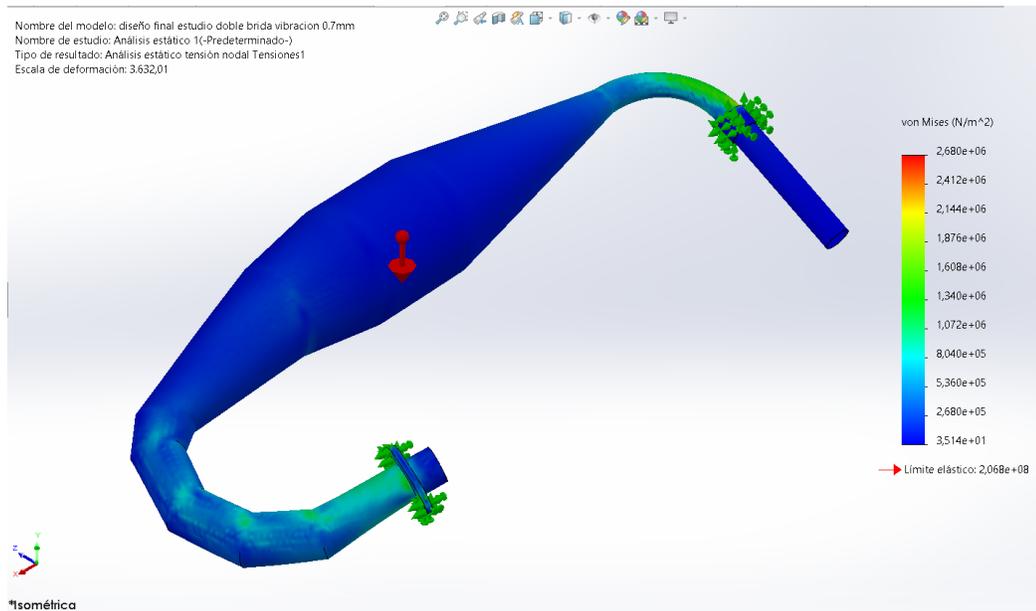
##### **a) Simulación Estática con un Espesor de 0.7 mm.**

Realizado el estudio se tiene de resultado las siguientes propiedades: Tensión de Von Misses, Desplazamiento y Factor de seguridad.

El primer factor para considerar es Von Misses obteniendo un resultado en N/m<sup>2</sup> teniendo como límite elástico del material AISI 304, 2.068 e8 N/m<sup>2</sup>, el estudio se analiza en la Figura 36.

### Figura 36

*Tensión de Von Misses Sobre el Sistema con Espesor de Material de 0.7 mm*

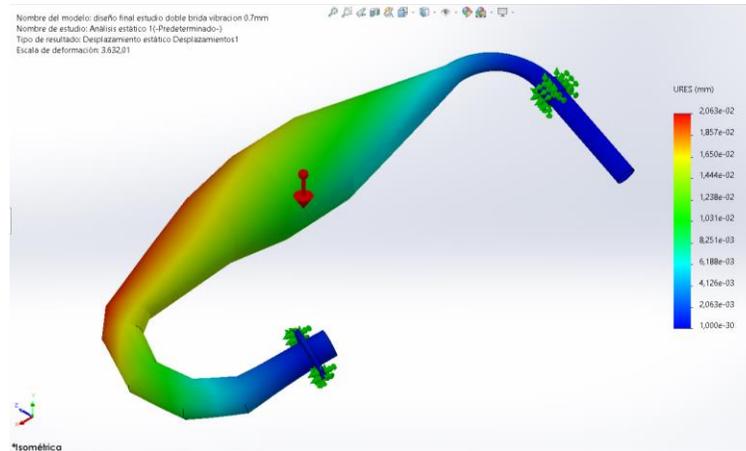


*Nota.* En la figura se representa el estudio de tensión Von Misses.

Se obtiene un resultado máximo de tensión ejercida sobre el sistema de 2.68 e6 N/m<sup>2</sup> por lo que no existe ningún riesgo de falla del sistema. Los desplazamientos generados debido a estas tensiones se observan en la Figura 37.

**Figura 37**

*Desplazamiento del Sistema con 0.7 mm de Espesor*

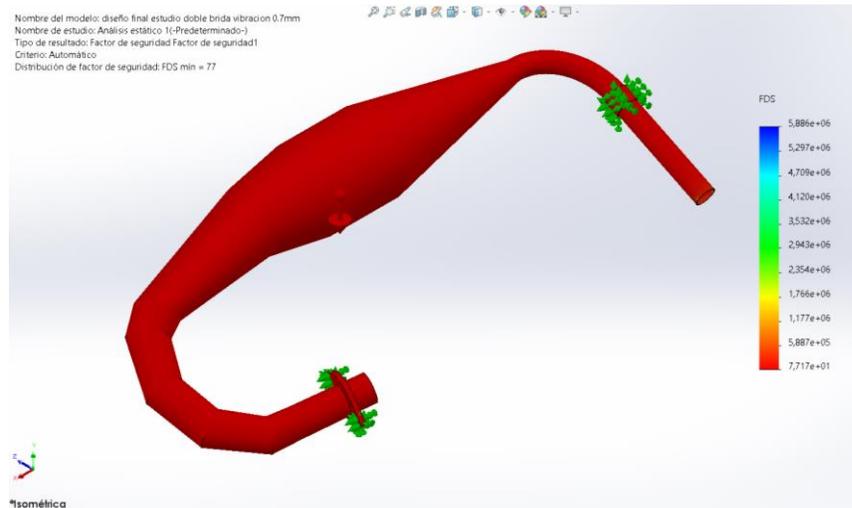


*Nota.* La figura demuestra una forma de desplazamiento del material en mm.

El mayor desplazamiento existente es de 0.02063 mm. Una vez obtenido estos resultados se procede a realizar el estudio de factor de seguridad teniendo en cuenta que nunca se superó el límite elástico del material, Figura 38.

**Figura 38**

*Factor de Seguridad del Sistema con 0.7 mm de Espesor*



*Nota.* La figura indica el factor de seguridad en todo el sistema.

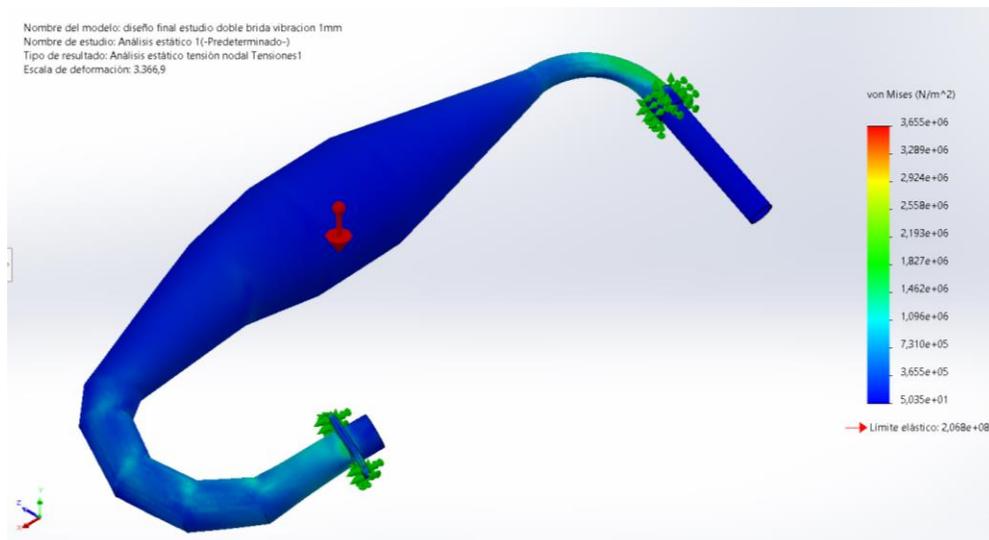
El sistema tiene como mínimo factor de seguridad de 77 por lo que no existe ningún problema en construcción, pero esto se debe a que mecánicamente hablando no existe ninguna fuerza sobre el sistema exceptuando su peso.

### b) Simulación Estática con un Espesor de 1 mm.

Se realizó la simulación estática teniendo en cuenta las mismas propiedades del estudio realizado con otro espesor, los resultados se indica en la Figura 39.

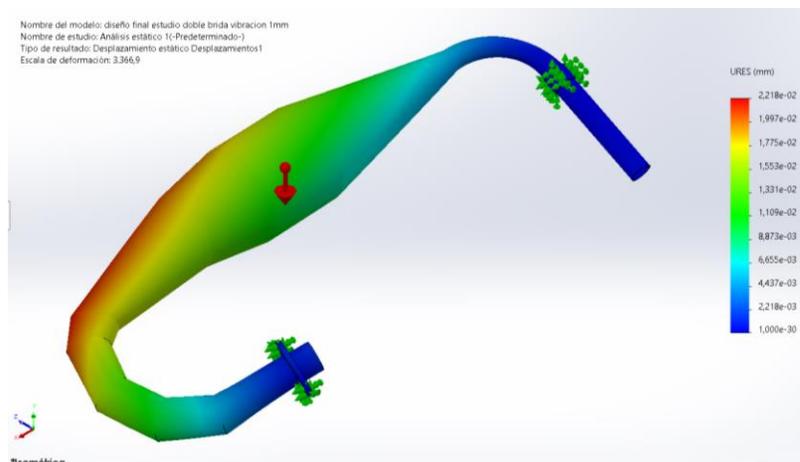
#### Figura 39

*Tensión de Von Misses sobre el Sistema con Espesor de Material de 1 mm*



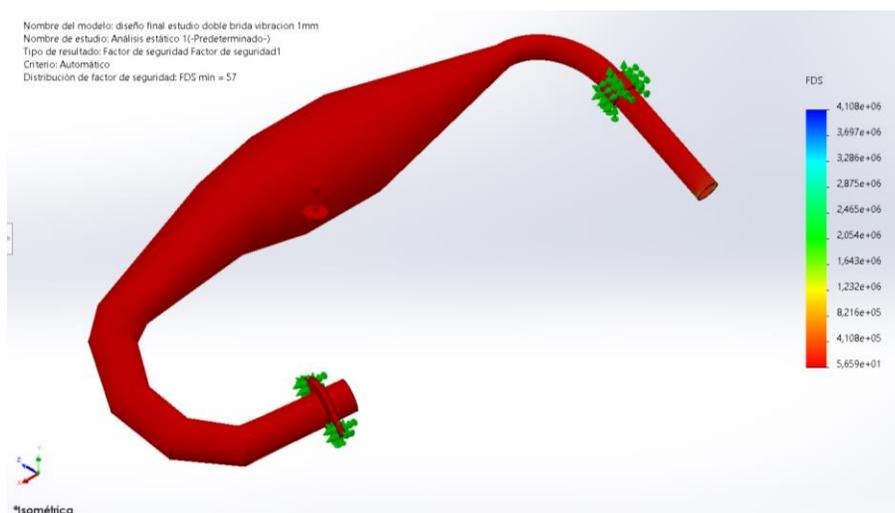
*Nota.* En la figura se representa el estudio de tensión Von Misses.

Se obtiene un resultado máximo de tensión ejercida sobre el sistema de 3.655 e6 N/m<sup>2</sup> por lo que no existe ningún riesgo de falla del sistema. Los desplazamientos generados debido a estas tensiones se observan en la Figura 40.

**Figura 40***Desplazamiento del Sistema con 1 mm de Espesor*

*Nota.* La figura demuestra una forma de desplazamiento del material en mm.

El mayor desplazamiento existente es de 0.02218 mm. Una vez obtenido estos resultados se procede a realizar el estudio de factor de seguridad teniendo en cuenta que nunca se superó el límite elástico del material como se observa en la Figura 41.

**Figura 41***Factor de Seguridad del Sistema con 1 mm de Espesor*

*Nota.* La figura indica el factor de seguridad en todo el sistema.

El sistema tiene como mínimo factor de seguridad de 57 por lo que no existe ningún problema en construcción, pero esto se debe a que mecánicamente hablando no existe ninguna fuerza sobre el sistema exceptuando su peso.

### **3.3.2. Simulación de frecuencia**

Realizado los estudios estáticos se procede a realizar los estudios de frecuencia, teniendo en cuenta que los parámetros aplicados son los mismo que en la simulación estática.

#### **a) Simulación de frecuencia 0.7 mm.**

Para la simulación de vibración se realizó un estudio que da como resultado las 5 primeras frecuencias en las que el sistema de escape Tuned Pipe puede entrar en resonancia causando una destrucción de este. Se presenta los resultados en la Tabla 17. Los valores obtenidos se tomarán en cuenta para la realización de otro sistema de sujeción en caso de que una de las frecuencias presentadas se encuentre cercanas al régimen de giro con la que se calculó el sistema, es decir 7500 RPM.

Los valores cercanos obtenidos son la Frecuencia n° 2 de 6197.4 RPM y la Frecuencia n° 3 de 8419.2 RPM. Estos valores se encuentran fuera del rango de utilización normal del karting en pista, teniendo en cuenta 500 RPM de variación del régimen de giro utilizado en el estudio, por lo que se obtienen un rango de 7000 a 8000 RPM.

Se determina que la construcción del sistema utilizando este espesor evita entrar en resonancia en un rango normal de uso.

**Tabla 17**

*Resultados del Estudio de Frecuencias de Destrucción con 0.7 mm de espesor*

<b>Frecuencia N°</b>	<b>Hertz</b>	<b>Régimen de giro (rpm)</b>
1	28,2	1692,12
2	103,3	6197,4
3	140,3	8419,2
4	286,9	17211
5	475,3	28518

*Nota.* La tabla se obtiene del software de ingeniería.

#### **b) Simulación de frecuencia 1 mm.**

El estudio de frecuencia teniendo en cuenta el mismo procedimiento realizado en otro espesor, y tenemos los resultados obtenidos en la Tabla 18.

Los valores cercanos obtenidos son la Frecuencia N° 2 de 6501.6 RPM y la Frecuencia N° 3 de 8463.6 RPM. Estos valores se encuentran fuera del rango de utilización normal del karting en pista, teniendo en cuenta 500 RPM de variación del régimen de giro utilizado en el estudio, por lo que se obtienen un rango de 7000 a 8000 RPM.

Se determina que la construcción del sistema utilizando este espesor evita entrar en resonancia en un rango normal de uso.

**Tabla 18**

*Resultados del Estudio de Frecuencias de Destrucción con 1 mm de espesor*

<b>Frecuencia N°</b>	<b>Hertz</b>	<b>Régimen de giro (rpm)</b>
1	29,68	1780,98
2	108,4	6501,6
3	141,1	8463,6
4	292,4	17543,4
5	503,2	30190,8

*Nota.* La tabla se obtiene del software de ingeniería.

### **3.3.3. Selección de espesor**

Para la selección del espesor correcto se realizó la comparación de ambos estudios de frecuencia, teniendo en cuenta que la potencia del motor máxima según su ficha técnica se produce a 7500 RPM. Se decide utilizar el rango normal de funcionamiento en competencia de 7000 RPM a 8000 RPM recalando que en una competencia puede variar dependiendo de los factores de pista. Los valores de frecuencia cercanos se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19**

*Frecuencias Cercanas al Rango Optado de Uso*

<b>Espesores</b>	<b>Régimen de giro menor más cercano al rango</b>	<b>Régimen de giro mayor más cercano al rango</b>
Espesor 0,7 mm	6197,4	8419,2
Espesor 1 mm	6501,6	8463,6

*Nota.* La tabla indica los regímenes de giro más cercanos al rango propuesto.

Como se observa en la Tabla 19 los rangos de falla del sistema de escape están fuera del rango normal de funcionamiento del motor; por lo que se podría fabricar en cualquiera de las dos presentaciones del material.

Según el fabricante de la plancha AISI 304, es recomendada en el uso de espesores mayores o iguales a 1 mm con procesos de manufactura de soldadura y en aplicaciones de escapes. Por lo que se procede a seleccionar esta presentación comercial del material.

### 3.3.4. Simulación fluidodinámica

Se calcula el tiempo que el motor tarda en rotar  $170^\circ$ , debido a que es la duración del tiempo de escape.

$$7500 \frac{Rev}{min} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{360^\circ}{1 \text{ rev}} = 45000 \frac{^\circ}{s}$$

$$170^\circ * \frac{1 \text{ s}}{45000^\circ} = 0.0037777 \text{ s}$$

Con el valor obtenido se procede a simular un ciclo de escape de gases utilizando los parámetros iniciales mostrados en la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Parámetros Iniciales para la Simulación Fluidodinámica*

Parámetros	Valor	Unidades
Velocidad de escape (Figura 42)	49,8	m/s
Velocidad del aire del ambiente	14,166	m/s
Temperatura del aire del escape	280	°C
Temperatura ambiente	20	°C

Parámetros	Valor	Unidades
Tiempo	0,0037777	s

*Nota.* En la tabla se describe los parámetros iniciales para la realización de la simulación fluidodinámica.

Para la medición de la velocidad de los gases de escape se utilizó un anemómetro GM816 el cual tiene una precisión en la medición del 5%, además de trabajar con humedad ambiental hasta 90%.

## Figura 42

*Velocidad de los Gases de Escape*



*Nota.* La figura representa un anemómetro con el cual se realizó la medición de la velocidad de los gases de escape.

Obtenidos los parámetros iniciales se procede a realizar un mallado sobre el sistema donde se toma en cuenta la zona de fluido interna del escape, el escape y por último una zona de fluido ambiental, debido al costo computacional y teniendo en cuenta que es necesaria mayor precisión en el estudio de fluidos se realizó un diseño lineal del sistema.

Se ejecuta el mallado del sistema y se programa las zonas de fluido y la zona sólida de acero inoxidable AISI 304, tenemos en la Tabla 21 los parámetros de la malla, además de que se tiene una representación gráfica del diseño de malla en la Figura 43.

**Tabla 21**

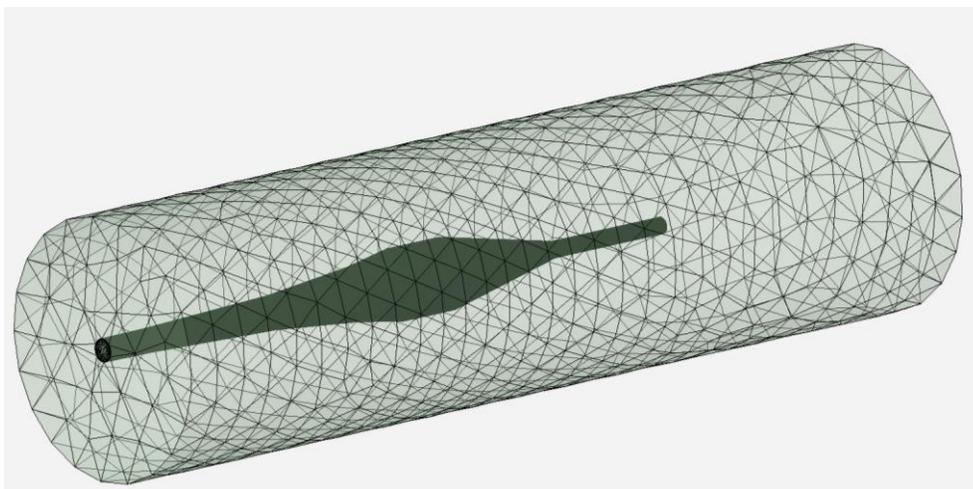
*Propiedades de Malla del Estudio Fluidodinámico*

<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Tamaño de malla (Min - Max)	(0.6193 - 61.93) mm
Número de nodos	1359903
Número de elementos	5330834

*Nota.* La tabla indica las propiedades de la malla del software de ingeniería.

**Figura 43**

*Mallado del Sistema de Escape*



*Nota.* La figura representa el mallado de las zonas de fluido como también la zona del material sólido.

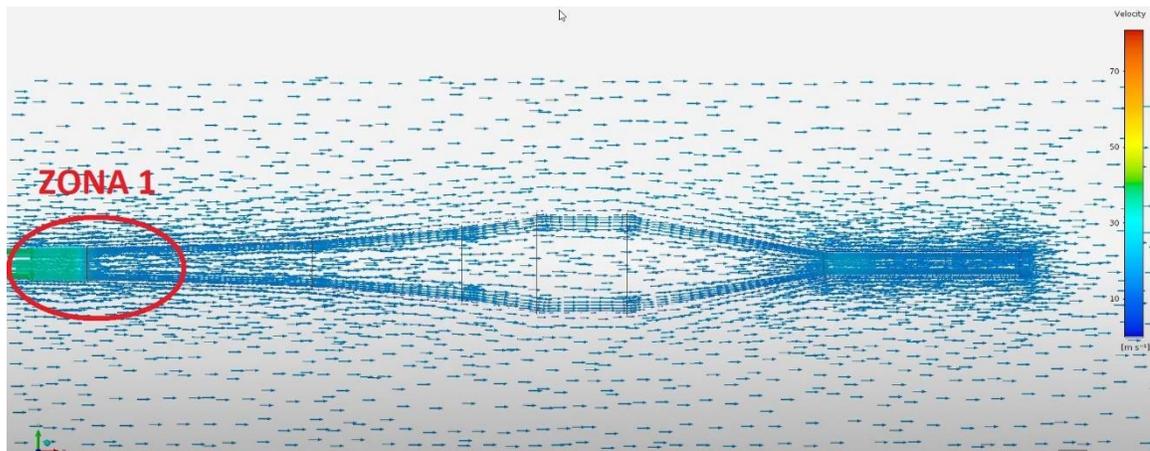
### a) Estudio de Velocidad.

El estudio de velocidad del fluido interpreta los parámetros iniciales de la Tabla 20 y simula como va a ser el movimiento de los gases de escape en el sistema Tuned Pipe, además se analiza el movimiento circundante, es decir del ambiente.

En la Figura 44 el tiempo de escape del motor comienza generando los primeros valores de velocidad de los gases de escape ubicados en la zona 1, que representa el difusor de entrada, la velocidad inicial es la medida de 49.8 m/s a los 0.1012 ms representando 4.55° de duración del sistema.

#### Figura 44

*Velocidad inicial del sistema*

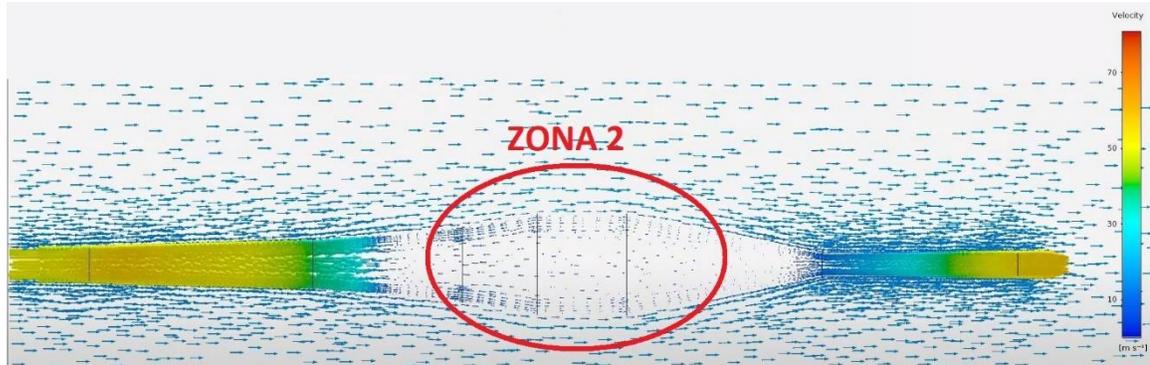


*Nota:* La figura representa el inicio del ciclo de escape del motor.

En la Figura 45 el tiempo de escape se encuentra a 1.147 ms representando 51.64° de duración del ciclo, los gases de escape ubicados en la zona 2, que representa el vientre, tiene un cambio del sentido de la velocidad debido al difusor de salida, generando una contrapresión sobre la lumbrera de escape.

### Figura 45

#### *Contrapresión Generada en el Sistema de Escape*

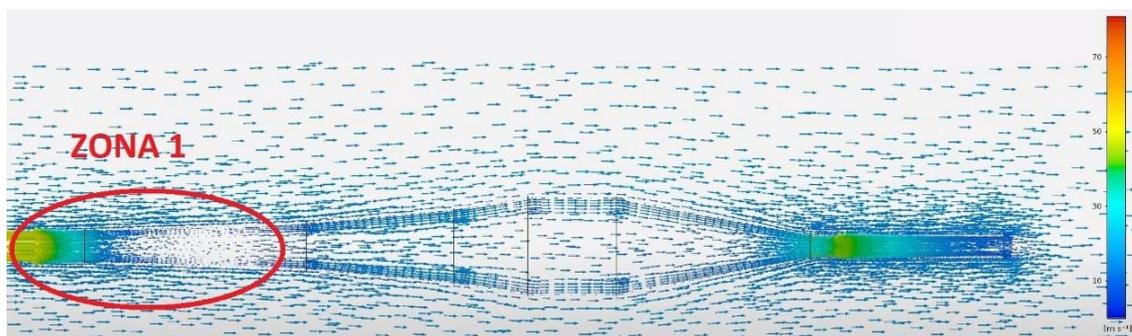


*Nota:* La figura representa la velocidad de los gases de escape a los 51.64° de duración del escape.

En la Figura 46 el tiempo de estudio es de 2.036 ms representando 91.62° del ciclo de escape, se analiza la velocidad que nuevamente empieza a aumentar progresivamente en la lumbrera de escape en la zona 1 después de la contrapresión generada en el difusor de salida.

### Figura 46

#### *Finalización de la Contrapresión*

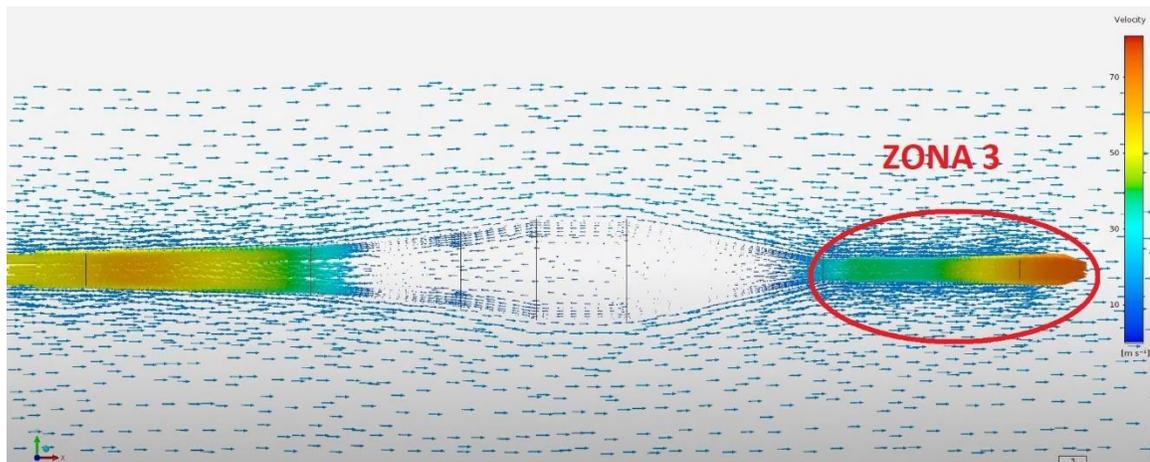


*Nota:* La figura representa la velocidad después de la contrapresión generada en el escape.

En la Figura 47 se encuentra a 3.7 ms representando  $166.5^\circ$  del ciclo de escape, donde se analiza la salida de los gases de escape a mayor velocidad del sistema debido al cierre de la lumbrera de escape teniendo en el agujón una velocidad de hasta 75 m/s momentáneamente visto en la zona 3.

### Figura 47

*Final del Ciclo de Escape*



*Nota:* La figura representa la velocidad al final del ciclo de escape.

Con la representación de la velocidad en el sistema de escape se comprueba la funcionalidad del Tuned Pipe, el cual genera una contrapresión para evitar la salida de mezcla fresca del motor, teniendo como resultado una mejor eficiencia volumétrica lo que generara mejor desempeño del vehículo.

#### **b) Estudio de temperatura.**

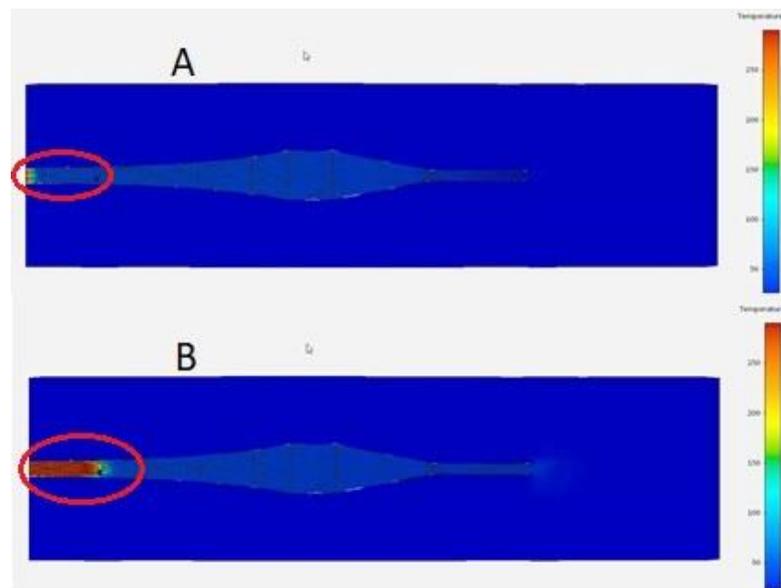
Como se muestra en la Tabla 20 los parámetros iniciales de temperatura son de  $20^\circ\text{C}$  a nivel ambiental mientras que en la zona inicial del sistema de escape tiene una temperatura de  $280^\circ\text{C}$ , avanzado el tiempo de un ciclo calculado anteriormente, se tiene una simulación como se muestra en la Figura 48.

La Figura 48.A. muestra el inicio del ciclo en la inmediata apertura de la lumbrera de escape, por lo que la temperatura máxima es de 280°C y se encuentra focalizada en la zona inicial del escape.

La Figura 48.B. indica el final del ciclo a los 170° del escape, debido al tiempo de duración del ciclo de 3.777 ms la transferencia de calor solo llega a la zona del difusor de entrada, al realizarse el ciclo continuamente esta temperatura aumentara sobre todo el Tuned Pipe. Teniendo en cuenta el material de estudio AISI 304 que soporta cargas de temperatura hasta 800°C se determina que no existirá falla por carga termodinámica.

## Figura 48

### *Simulación de Temperatura*



*Nota.* La figura representa el estudio de temperatura en el sistema de escape.

### **c) Estudio de presión.**

Para analizar si el diseño poseerá un comportamiento apropiado para su uso en el motor es necesario el estudio de presión, con el fin de analizar las variaciones de

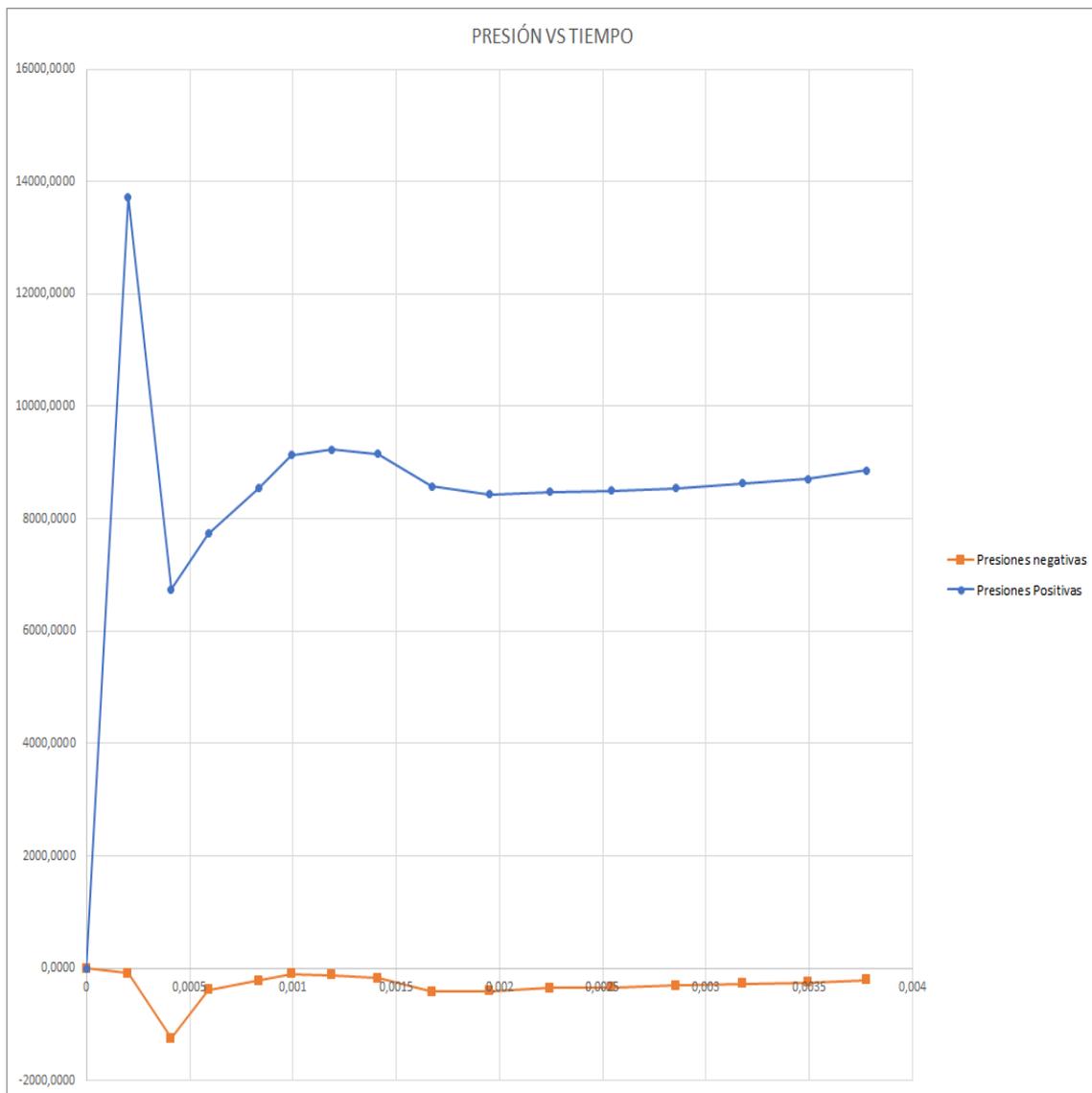
presión ocurridas en la zona del difusor de entrada como también en el difusor de salida, todo esto respecto al tiempo que tarda un ciclo de escape. Como se observa en la Figura 49 existe dos análisis de presión teniendo el máximo 13721,918 Pa a los 0,0002 segundos de iniciado el ciclo de escape, esto se debe a la inmediata apertura del escape aumentando la presión en el difusor de entrada. Mientras que la presión negativa mínima generada es de -1244,336 Pa en 0.4 milisegundos desde la apertura, tras generarse una sobrepresión en el difusor de entrada, a la vez se genera un vacío que evacúa los gases combustionados del cilindro.

A partir de aquí la presión positiva se estabiliza aproximadamente en 8600 Pa, quiere decir, mantiene la presión constante incluso después de realizar la reflexión de presión en el difusor de salida, mientras que el vacío generado se mantiene en -250 Pa debido a los diferentes movimientos del fluido internamente.

De esta manera queda demostrado el correcto funcionamiento del sistema de escape Tuned Pipe generando un vacío inicial para desalojar todos los gases combustionados, y realizando una contrapresión sobre la lumbrera de escape evitando la pérdida de mezcla fresca aumentando el rendimiento del motor y sus parámetros finales.

**Figura 49**

*Estudio de Presiones en el Sistema de Escape*



*Nota.* El gráfico de la figura se obtiene a través del estudio simulado en el software de ingeniería.

Todo se demuestra en la Tabla 22, generado por el software donde se indica la variación de presión respecto al tiempo.

**Tabla 22***Variación de la Presión vs el Tiempo*

<b>Presiones negativas</b>		<b>Presiones positivas</b>	
<b>Time (s)</b>	<b>Presión (Pa)</b>	<b>Time (s)</b>	<b>Presión (Pa)</b>
0	0,0000	0	0,0000
0,0002	-91,9351	0,0002	13721,9181
0,0004	-1244,3360	0,0004	6742,9214
0,0006	-380,9596	0,0006	7736,3178
0,0008	-219,0557	0,0008	8546,2550
0,0010	-100,0520	0,0010	9131,6046
0,0012	-123,4642	0,0012	9227,7891
0,0014	-176,4900	0,0014	9150,3291
0,0017	-414,5323	0,0017	8572,3623
0,0020	-403,0777	0,0020	8429,2251
0,0022	-355,4400	0,0022	8474,8034
0,0025	-336,1460	0,0025	8502,6683
0,0029	-307,6238	0,0029	8546,5333
0,0032	-273,4701	0,0032	8631,2684
0,0035	-256,2341	0,0035	8702,5947
0,0038	-205,4902	0,0038	8856,6037

*Nota.* La tabla de valores es generada a través del software de ingeniería una vez realizado el estudio fluidodinámico.

Una vez realizado todas las simulaciones y estudios necesarios se observa la factibilidad del diseño del escape Tuned Pipe por lo que se procede a realizar la construcción e implementación en el Go Kart.

## Capítulo IV

### 4. Construcción y Pruebas

#### 4.1. Construcción

La construcción del sistema de escape Tuned Pipe consta de una serie de procesos que se ejecutan de manera lógica con la finalidad de obtener un producto final de calidad capaz de soportar todos los esfuerzos a los que se someterá el sistema de escape una vez implementado en el motor.

Para el proceso de construcción se toma en cuenta los cálculos realizados del modelado indicados en el capítulo 3, los planos se presentan en el Anexo 1.

##### **4.1.1. Proceso de corte de piezas**

Debido a que el material y espesor seleccionado, óptimo para la construcción del sistema de escape Tuned Pipe fue acero inoxidable 304 de 1mm de espesor, es necesario llevar a cabo un proceso de corte laser de cada una de las piezas, de este modo se garantiza una uniformidad y precisión de cada fragmento del sistema de escape.

A partir de los planos de detalle mostrados en el Anexo 1 se elabora las hojas de proceso para un procedimiento de manufactura por corte láser de la plancha las que se presentan en la hoja de procesos en el Anexo 2. Se optimiza el uso de material mediante una configuración de posicionamiento de las piezas que permita un corte óptimo.

La máquina utilizada para el corte laser presenta las características mostradas en la Tabla 23.

**Tabla 23***Propiedades de la Máquina de Corte Laser*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
MÁQUINA DE CORTE LASER	SIF - HF1530A
PRECISIÓN	0,3 mm
VELOCIDAD	110 mm/min
POTENCIA	500 w

Las piezas del sistema de escape Tuned Pipe se muestran en la Figura 50. Con todas las piezas completas se prosigue al proceso de barolado del sistema de escape Tuned Pipe.

**Figura 50***Piezas Cortadas*

*Nota.* La figura representa cada una de las piezas que constituyen el sistema de escape Tuned Pipe cortadas por láser.

#### **4.1.2. Proceso de barolado de piezas**

Para poder darle la forma de cono a cada pieza del tubo de escape Tuned Pipe es necesario utilizar una herramienta que permita el barolado de las mismas. Debido a que dichas piezas son bastante pequeñas para utilizar herramientas disponibles en el mercado, es necesario hacer uso de una herramienta de fabricación casera que se emplea para el mismo fin y que se puede ver en la Figura 51.

#### **Figura 51**

*Baroladora de Lámina Casera*



*Nota.* La figura representa la herramienta de fabricación casera para el barolado de las piezas del tubo de escape Tuned Pipe.

El proceso de barolado de las piezas se encuentra especificado en la hoja de procesos en el Anexo 2, el resultado de una de las piezas roladas se observa en la Figura 52.

**Figura 52***Pieza Barolada*

*Nota.* La figura representa la terminación del barolado de una pieza del tubo de escape Tuned Pipe.

Cuando todas las piezas han sido baroladas, se posicionan para analizar su correcto ensamble como se muestra en la Figura 53.

**Figura 53***Piezas Baroladas del Escape Tuned Pipe*

### 4.1.3. Proceso de soldadura

Antes de comenzar con el proceso es necesario determinar parámetros de funcionamiento de la máquina de soldadura. En la Tabla 24 se explica todos los parámetros considerados para el proceso de soldadura.

**Tabla 24**

*Parámetros para el Proceso de Soldadura*

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
MÁQUINA DE SOLDADURA	TIG
AMPERAJE UTILIZADO	35 AMPERIOS
MATERIAL DE APORTE	VARILLA DE ACERO INOXIDABLE 308 DE 1/16 DE PULGADA
TIPO DE GAS	ARGÓN
CAUDAL DE GAS	6 LT/MIN

Establecidos los parámetros del proceso de soldadura podemos comenzar con el proceso de suelda TIG, en el Anexo 2 se especifica las hojas de procesos para la construcción del sistema de escape Tuned Pipe.

Tras completar el proceso de soldadura indicado en el Anexo 2, se tiene el sistema de escape culminado como se indica en la Figura 54.

**Figura 54***Tubo de Escape Tuned Pipe Soldado*

*Nota.* En la figura se observa el tubo de escape Tuned Pipe unido totalmente por cordones de soldadura.

**4.2. Implementación**

Como parte final de la construcción del sistema de escape Tuned Pipe consta la implementación, para ello es necesario remover el antiguo tubo de escape y colocar el construido en la investigación. En la Figura 55 se observa la implementación del sistema de escape Tuned Pipe al motor del Go Kart.

**Figura 55***Implementación del Sistema de Escape Tuned Pipe*

### 4.3. Pruebas

Las pruebas se llevan a cabo al Go Kart con el motor funcionando con el escape antiguo, es decir, tal como fue entregado al grupo investigador y con el escape Tuned Pipe construido en la investigación, esto con la finalidad de evidenciar el funcionamiento con los dos sistemas de escape disponibles.

Como parte del equipo necesario para realizar las pruebas se encuentran los siguientes:

- Dinamómetro de rodillos SAENZ.
- Pista del Kartódromo de Cotopaxi.
- GO KART de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.
- Sistema de escape estándar.
- Sistema de escape Tuned Pipe.
- Caja de herramientas.
- Equipo de seguridad (casco, audífonos y overol).
- App Speed Tracker: Velocímetro GPS.
- Jarra de polipropileno de 1lt con graduación.
- Mezcla de gasolina y aceite de dos tiempos al 4%.

#### **4.3.1. Pruebas al Go Kart con el escape antiguo (estándar)**

Estas pruebas sirven para evidenciar el estado actual del vehículo (Go Kart) así como el estado en el que se encuentra el motor y sus sistemas auxiliares que por el uso que ha tenido en diversas competencias presenta desgaste de sus componentes internos y externos.

##### **a) Pruebas dinamométricas.**

El dinamómetro de rodillos nos ayuda a obtener datos de potencia y torque que desarrolla el motor. Para ello se realiza el siguiente procedimiento:

- 1) Ubicación del Go Kart en los rodillos con sus ruedas motrices perfectamente posicionadas; además de realizar una estabilización en los puntos de sujeción del dinamómetro como se indica en la Figura 56.

#### **Figura 56**

*Posicionamiento del Go Kart en el Dinamómetro*



*Nota.* En la figura se observa el posicionamiento del Go Kart y la sujeción de este sobre los rodillos del banco dinamométrico.

- 2) Instalación del equipo de refrigeración del motor (ventilador) para evitar el recalentamiento, ubicado de tal manera que el aire choque directamente con el motor del Go Kart como se indica en la Figura 57.

**Figura 57**

*Instalación del Ventilador*



- 3) Preparación del motor para que alcance la temperatura correcta de funcionamiento. Ponerlo en marcha por unos minutos antes de realizar las pruebas.
- 4) Programación del dinamómetro de acuerdo con las revoluciones del motor, es decir, programarlo para que comience a medir por arriba de 1000 rpm y que termine la pasada cuando exceda los 10000 rpm. No es necesario introducir otros datos como temperatura o presión ambiental ya que la máquina lo realiza automáticamente.
- 5) Calibración de la carburación con cada pasada para obtener la máxima potencia y rendimiento.

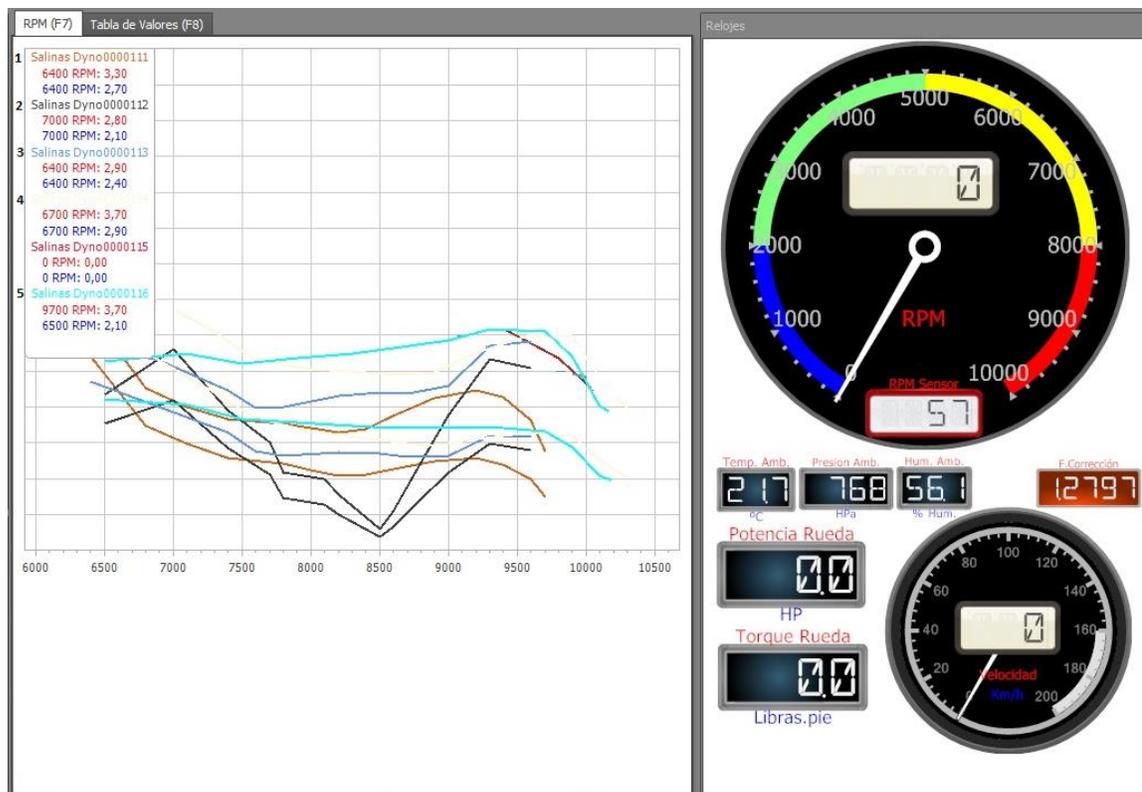
**b) Resultados de las pruebas dinamométricas.**

Se realizaron 5 pruebas con el sistema de escape antiguo, de los que se obtienen los siguientes resultados de potencia y torque máximos a la rueda en la Figura 58.

- 1) Al realizar el primer pase en el dinamómetro, con una regulación del tornillo de calibración de aire a 3 vueltas, se logró obtener una potencia máxima de 3.30 HP a 6400 rpm y un torque máximo de 2.70 lb\*ft a 6400 rpm. Para los pases posteriores se realiza un ajuste al tornillo de calibración de aire del carburador.
- 2) En el segundo pase, habiendo ajustado el tornillo de calibración de aire a 2,5 vueltas, se observa una reducción en la potencia máxima a 2.80 HP a 7000 rpm y el torque máximo de 2.10 lb\*ft a 7000 rpm.
- 3) En el tercer pase se volvió a regular la calibración de aire, esta vez a 2 vueltas, se logró una potencia máxima de 2.90 HP a 6400 rpm y un torque máximo de 2.40 lb\*ft a 6400 rpm.
- 4) En el cuarto pase, con la regulación del tornillo de calibración de aire a 3,5 vueltas, se obtuvo una potencia máxima de 3.70 PH a 6700 rpm y el torque máximo de 2.90 lb\*ft a 6700 rpm.
- 5) En el quinto pase se ajustó el tornillo de regulación de aire a 4 vueltas y se logró una potencia máxima de 3.70 HP a 9700 rpm y un torque máximo de 2.10 lb\*ft a 6500 rpm.

**Figura 58**

*Gráficas Dinamométricas del Go Kart con el Escape Antiguo*



De todas las pruebas realizadas se considera como principal la prueba 4, considerando la potencia máxima de 3.70 HP y el torque máximo de 2.90 lb\*ft a las 6400 RPM, ya que los resultados de esta hacen referencia a una mejor respuesta del motor con la calibración de aire correspondiente, estos valores se indican en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Potencia y Torque, Pruebas del Go Kart con el Escape Antiguo*

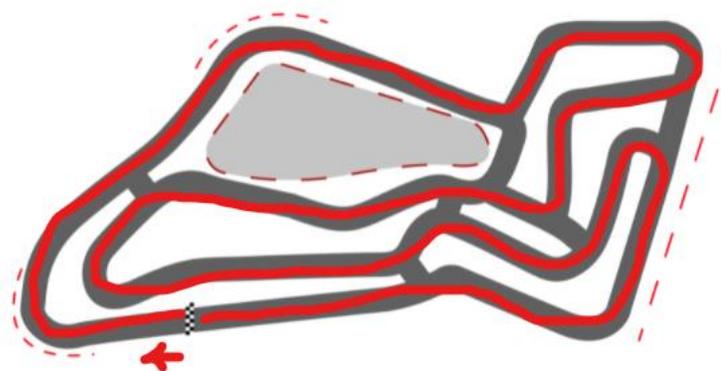
<b>N° de prueba</b>	<b>Calibración de aire</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Revoluciones rpm</b>	<b>Torque lb*ft</b>	<b>Revoluciones rpm</b>
1	3	3.30	6400	2.70	6400
2	2.5	2.80	7000	2.10	7000
3	2	2.90	6400	2.40	6400
4	3.5	3.70	6400	2.90	6400
5	4	3.70	9700	2.10	6500

**c) Pruebas de pista.**

Todas las pruebas de pista se realizaron en el Kartódromo de Cotopaxi, la pista presenta la ruta de la Figura 59 que cuenta con una extensión de 1600m.

**Figura 59**

*Ruta de Pista, Kartódromo Cotopaxi*



En la pista del Kartódromo Cotopaxi se llevan a cabo competencias a nivel internacional de Karting, las características de la pista se especifican en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Especificaciones de las Pruebas de Pista*

<b>CARACTERÍSTICAS DEL ESCENARIO DE PRUEBAS DE PISTA</b>	
UBICACIÓN	PISTA DEL KARTÓDROMO COTOPAXI
LOCALIZACIÓN	Panamericana Norte km 7, Latacunga
LONGITUD	1600m
CURVAS	17
ALTITUD	2830m.s.n.m
TEMP. AMBIENTAL	12°C
REALIZADO POR	Mejía Felipe, Sánchez Jimmy

**d) Prueba de velocidad máxima.**

Esta prueba registra la velocidad máxima alcanzada por el Go Kart en un número determinado de vueltas. Para ello se siguen los pasos a continuación:

- Verificar el funcionamiento de todos los sistemas del Go Kart tales como sistema de frenado, dirección, etc.
- Vaciar el depósito de combustible.
- Colocar 1 galón de combustible en el depósito.
- Seleccionar el piloto y usar elementos de seguridad para el manejo (casco, overol).

- Encender el motor del Go Kart y realizar vueltas de reconocimiento de pista.
- Realizar las pruebas.
- Registrar los resultados obtenidos mediante la aplicación móvil.

### **Figura 60**

#### *Preparación para las Pruebas de Pista*



*Nota.* En la figura se observa al piloto usando los elementos de seguridad previamente a dar el reconocimiento de pista.

#### **e) Resultados de la prueba de velocidad máxima.**

En este caso se realizaron 2 pruebas, cada una de ellas en las mismas condiciones iniciales. La Figura 61 muestra los resultados de la primera prueba de velocidad máxima.

## Figura 61

### Resultados de la Primera Prueba de Velocidad Máxima

Tiempo Total		04 <sub>min</sub> 35 <sub>s</sub>	
Distancia		3,2 <sub>km</sub>	
Tiempo de viaje	Velocidad maxima	04 <sub>min</sub> 13 <sub>s</sub>	51 <sub>km/h</sub>
Para el tiempo	Velocidad media	00 <sub>min</sub> 22 <sub>s</sub>	28 <sub>km/h</sub>
Altitud maxima	Altitud media	2844 <sub>m</sub>	2841 <sub>m</sub>

*Nota.* En la figura se observan los resultados la prueba 1 de velocidad máxima en la pista del Kartódromo Cotopaxi.

En la Figura 62 se muestran los resultados de la segunda prueba de velocidad máxima en donde se obtuvo 50 km/h en la misma distancia recorrida.

## Figura 62

### Resultados de la Segunda Prueba de Velocidad Máxima

Tiempo Total		04 <sub>min</sub> 45 <sub>s</sub>	
Distancia		3,2 <sub>km</sub>	
Tiempo de viaje	Velocidad maxima	04 <sub>min</sub> 23 <sub>s</sub>	50 <sub>km/h</sub>
Para el tiempo	Velocidad media	00 <sub>min</sub> 22 <sub>s</sub>	24 <sub>km/h</sub>
Altitud maxima	Altitud media	2844 <sub>m</sub>	2841 <sub>m</sub>

*Nota.* En la figura se observan los resultados la prueba 2 de velocidad máxima en la pista del Kartódromo Cotopaxi.

Los datos de la Tabla 27 reflejan que, en una distancia total de 6.4 km correspondientes a 4 vueltas en la pista, con un tiempo total de 09min y 20s se obtuvo una velocidad máxima de 51km/h.

**Tabla 27**

*Pruebas de Velocidad Máxima*

<b>N° DE PRUEBA</b>	<b>DISTANCIA RECORRIDA (KM)</b>	<b>VELOCIDAD MÁXIMA (KM/H)</b>	<b>TIEMPO TOTAL</b>
1	3.2	51	04min35s
2	3.2	50	04min45s
TOTAL	6.4		09min20s

*Nota.* En la tabla se representan los resultados obtenidos en las pruebas de velocidad máxima al GO KART con el escape antiguo.

**f) Prueba de consumo de combustible.**

Cabe recalcar que, en las pruebas dinamométricas la puesta a punto del motor se realizó con la carburación para obtener una mayor potencia a costa de un mayor consumo de combustible. Esta prueba se la realizó en la pista del Kartódromo Cotopaxi cumpliendo la misma ruta de las pruebas previamente realizadas observada en la Figura 63.

**Figura 63**

*Ruta para Prueba de Consumo de Combustible*



*Nota.* En la figura se observa la ruta seguida de la pista del Kartódromo Cotopaxi para la realización de la prueba de consumo de combustible.

La prueba de consumo de combustible se realiza de la siguiente manera:

- 1) Extraer el depósito de combustible y vaciarlo totalmente.
- 2) Medir 3000 cc de combustible e introducirlo en el depósito.
- 3) Instalar nuevamente el depósito de combustible en su posición.
- 4) Encender el motor e inmediatamente comenzar con la prueba.
- 5) Al terminar el recorrido establecido, vaciar el depósito de combustible y medir la cantidad restante de combustible tal como se observa en la Figura 64.

**Figura 64***Medición de Combustible Restante*

*Nota.* En la figura se observa la forma en la que se logró obtener la medida de combustible restante del depósito de combustible una vez realizada la prueba de consumo.

En la Tabla 28 se observa que, para un recorrido de 10 km, el consumo de combustible corresponde a 909.09 cc, esto quiere decir que en esas condiciones el motor presenta un rendimiento del combustible de 11 km por cada litro de combustible (11km/lit).

**Tabla 28***Prueba de Consumo de Combustible*

<b>PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE</b>	
TIPO DE COMBUSTIBLE	Super de 92 octanos
VOLUMEN INICIAL DE COMBUSTIBLE	3000 cc
VOLUMEN FINAL DE COMBUSTIBLE	2090.90 cc
DISTANCIA RECORRIDA	10 km
VOLUMEN CONSUMIDO	909.09 cc

---

**PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

---

CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	3785 cc
RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE	11km/lt
AUTONOMÍA	41.63 km

---

**4.3.2. Pruebas al Go Kart con el sistema de escape Tuned Pipe**

La segunda parte de las pruebas corresponden a las mismas realizadas con el escape antiguo pero esta vez con el sistema de escape Tuned Pipe construido en la investigación para evidenciar cambios con respecto a su funcionalidad y desempeño.

**a) Pruebas dinamométricas.**

En estas pruebas se puede evidenciar ganancias o pérdidas de potencia y torque con respecto a las pruebas realizadas con el sistema de escape antiguo. Para llevar a cabo estas pruebas se debe reemplazar el escape anterior y colocar el escape Tuned Pipe, como se presenta en la Figura 65.

**Figura 65**

*Reemplazo del Sistema de Escape Antiguo por el Sistema de Escape Tuned Pipe*



*Nota.* En la figura se observa el reemplazo del sistema de escape antiguo por el sistema de escape Tuned Pipe construido en la investigación.

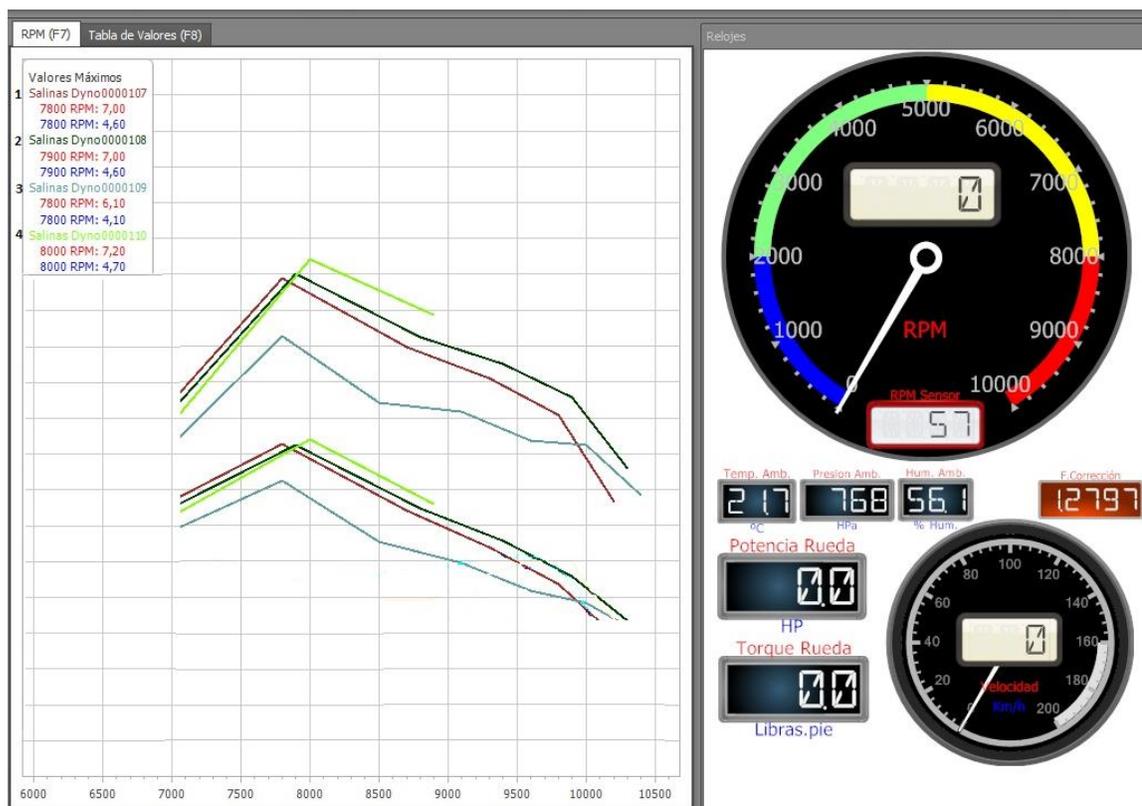
Para continuar con el proceso, repetir los mismos pasos realizados en las pruebas con el escape antiguo.

### b) Resultados de las pruebas dinamométricas.

Se realizaron 4 pruebas con el sistema de escape Tuned Pipe, cuyos resultados se pueden observar en las gráficas de la Figura 66.

**Figura 66**

*Gráficas Dinamométricas del Go Kart con el Escape Tuned Pipe*



Como en las pruebas dinamométricas anteriores, y debido al propio diseño del sistema de escape Tuned Pipe, en cada pasada fue necesario ajustar la calibración de aire para obtener la mayor potencia y torque.

- 1) En la primera prueba, con una regulación del tornillo de calibración de aire en 3,5 vueltas, la potencia máxima lograda corresponde a 7.0 PH y un torque máximo de 4.60 lb\*ft tomados a las 7800 RPM.
- 2) En el segundo pase, con el tornillo de calibración en 4 vueltas, se obtuvo prácticamente la misma potencia y torque máximos que en la prueba anterior con la diferencia que esta vez estos resultados se lograron a las 7900 RPM.
- 3) En el tercer pase, se reguló la calibración de aire a 2,5 vueltas, obteniendo una variación en la potencia y torque máximos que fue de 6.10 HP y 4.10 lb\*ft respectivamente, tomados a las 7800 RPM.
- 4) En la cuarta prueba, se calibró el paso de aire a 3 vueltas y se obtuvo una potencia y torque máximos de 7.20 HP y 4.70 lb\*ft respectivamente a las 8000 RPM.

**Tabla 29**

*Potencia y Torque, Pruebas del Go Kart con el Escape Tuned Pipe*

<b>N° de prueba</b>	<b>Calibración de aire N° vueltas</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Revoluciones rpm</b>	<b>Torque lb*ft</b>	<b>Revoluciones rpm</b>
1	3.5	7.0	7800	4.60	7800
2	4	7.0	7900	4.60	7900
3	2.5	6.10	7800	4.10	7800
4	3	7.20	8000	4.70	8000

La prueba 4 indica que el motor obtuvo la máxima potencia y torque que fue de 7.20 HP y 4.70 lb\*ft respectivamente a las 8000 RPM con la calibración del paso de aire en 3 vueltas. Dando a notar que existió una mejoría bastante considerable con el sistema de escape Tuned Pipe.

### c) Pruebas de pista.

Las pruebas de pista con el sistema de escape Tuned Pipe se basan en los mismos parámetros establecidos con el escape antiguo.

### d) Prueba de velocidad máxima.

Con el sistema de escape Tuned Pipe instalado en el Go Kart se deben realizar los mismos pasos de preparación como en la prueba de velocidad máxima con el escape antiguo.

### e) Resultados de la prueba de velocidad máxima.

En este caso se realizaron 2 pruebas, cada una de ellas en las mismas condiciones iniciales. Mostrados en la Figura 67 y en la Figura 68.

#### Figura 67

*Resultados de la Primera Prueba de Velocidad Máxima*

Tiempo de viaje	Velocidad máxima
<b>3<sup>min</sup>56<sup>s</sup></b>	<b>69<sup>km/h</sup></b>
Para el tiempo	Velocidad media
<b>2<sup>min</sup>37<sup>s</sup></b>	<b>27<sup>km/h</sup></b>
Altitud	Distancia
<b>2839,0<sup>m</sup></b>	<b>3,2<sup>km</sup></b>

*Nota.* En la figura se observan los resultados la prueba 1 de velocidad máxima en la pista del Kartódromo Cotopaxi.

**Figura 68***Resultados de la Segunda Prueba de Velocidad Máxima*

Tiempo de viaje	Velocidad máxima
<b>3<sup>min</sup>49<sup>s</sup></b>	<b>76<sup>km/h</sup></b>
Para el tiempo	Velocidad media
<b>2<sup>min</sup>35<sup>s</sup></b>	<b>37<sup>km/h</sup></b>
Altitud	Distancia
<b>2839,0<sup>m</sup></b>	<b>3,2<sup>km</sup></b>

*Nota.* En la figura se observan los resultados la prueba 2 de velocidad máxima en la pista del Kartódromo Cotopaxi.

Los datos de la Tabla 30 reflejan que, en una distancia total de 6.4 km correspondientes a 4 vueltas en la pista, con un tiempo total de 07min y 45s se obtuvo una velocidad máxima de 76 km/h en la prueba 2, lo que corresponde a un aumento en la velocidad final con el sistema de escape Tuned Pipe.

**Tabla 30***Pruebas de Velocidad Máxima Tuned Pipe*

<b>Nº DE PRUEBA</b>	<b>DISTANCIA RECORRIDA (KM)</b>	<b>VELOCIDAD MÁXIMA (KM/H)</b>	<b>TIEMPO TOTAL</b>
1	3.2	69	03min56s
2	3.2	76	03min49s
TOTAL	6.4		07min45s

*Nota.* En la tabla se representan los resultados obtenidos en las pruebas de velocidad máxima al GO KART con el escape Tuned Pipe.

#### f) Prueba de consumo de combustible.

La prueba de consumo de combustible con el sistema de escape Tuned Pipe se basa en las mismas consideraciones iniciales y en la misma ubicación en donde se desarrollaron las pruebas de consumo de combustible con el escape antiguo. Los parámetros iniciales de esta prueba son iguales a los considerados con el escape antiguo. El combustible restante se indica en la Figura 69.

#### Figura 69

*Medición de Combustible Restante Tuned Pipe*



*Nota.* En la figura se observa la forma en la que se logró obtener la medida de combustible restante del depósito de combustible una vez realizada la prueba de consumo con el sistema de escape Tuned Pipe.

La Tabla 31 muestra que, para un recorrido de 10 km, el consumo de combustible corresponde a 1250 cc, esto quiere decir que en esas condiciones el motor presenta un rendimiento del combustible de 8 km por cada litro de combustible (8km/lit).

**Tabla 31***Prueba de Consumo de Combustible Tuned Pipe*

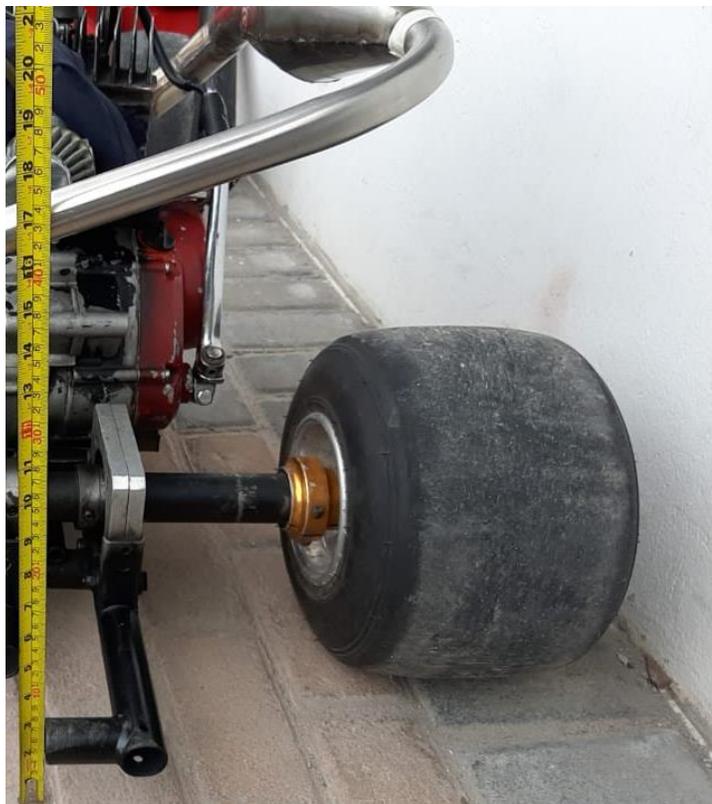
<b>PRUEBA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE</b>	
TIPO DE COMBUSTIBLE	Super de 92 octanos
VOLUMEN INICIAL DE COMBUSTIBLE	3000 cc
VOLUMEN FINAL DE COMBUSTIBLE	1750. cc
DISTANCIA RECORRIDA	10 km
VOLUMEN CONSUMIDO	1250 cc
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	3785 cc
RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE	8 km/lt
AUTUNOMÍA	30.28 km

*Nota.* En la tabla se observan los resultados de la prueba de consumo de combustible.

#### **4.4. Pruebas de Normativa**

##### **4.4.1. Medida de salida del escape**

El diseño fue realizado en base a la normativa por lo que no supera los 45 cm de alto máximo desde el suelo a la salida del escape, para realizar la medición se utiliza un flexómetro de forma perpendicular a la superficie en la que se encuentra el Go Kart observado en la Figura 70.

**Figura 70***Altura de la Salida del Escape*

*Nota.* En la figura se ve el metro desde el suelo hasta la salida del escape, y se observa que la salida se encuentra menos a 45 cm.

**4.4.2. Prueba de Ruido**

Se realiza la medición del ruido con un decibelímetro digital que se ubica a 2.5 metros de alto desde el suelo indicado en la Figura 71, se procede a realizar la medición en ralentí y plena carga para demostrar que se cumple la normativa.

## Figura 71

### *Medición de Ruido del Tuned Pipe*



*Nota.* En la figura se observa la posición del decibelímetro a 2.5 metros de altura desde el suelo, además se observa la medida de decibeles a la derecha.

Quando se realiza la medición del sistema se comprueba que el máximo nivel de ruido generado por el sistema de escape es de 101.7 dB, que entra en la norma ya que no sobrepasa los 108 dB.

## **4.5. Análisis de resultados**

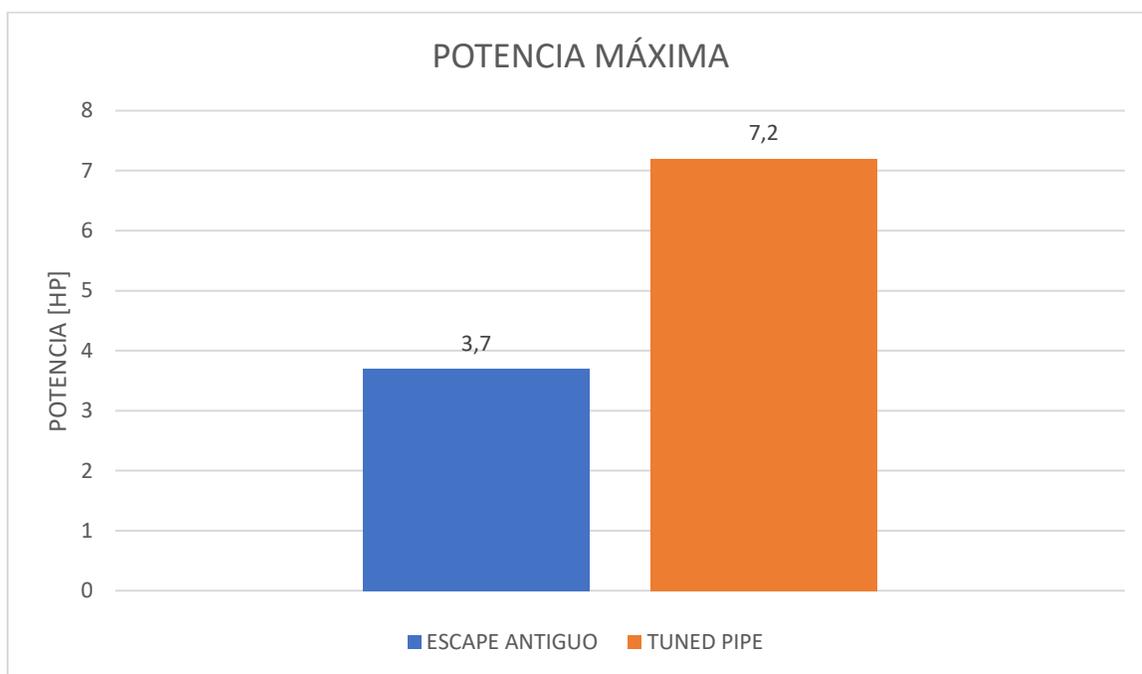
### **4.5.1. Resultados de potencia máxima**

Los resultados de potencia obtenidos al motor del Go Kart funcionando con el escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe construido en la investigación se presentan en la Figura 72.

Con el sistema de escape antiguo la potencia máxima desarrollada por el motor del Go Kart es de 3.7 HP mientras que con el sistema de escape Tuned Pipe se obtuvo 7.2 HP, lo que significa un aumento del 94.59%.

### Figura 72

#### Comparación de Potencia Máxima



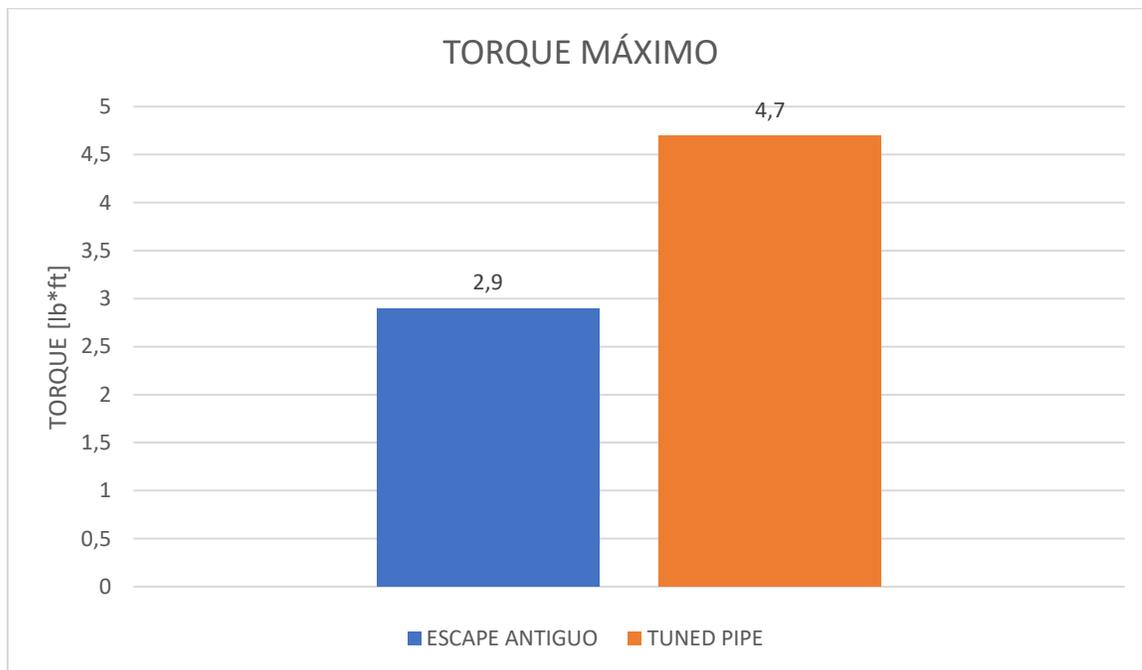
*Nota.* En la figura se observa la comparación de resultados de potencia máxima alcanzada con el sistema de escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe.

#### 4.5.2. Resultados de torque máximo

El motor del Go Kart, funcionando con el escape antiguo desarrolla un torque máximo de 2.9 lb\*ft, mientras que con el sistema de escape Tuned Pipe se logró 4.7 lb\*ft lo que corresponde a una ganancia de 62.07%. Estos resultados se observan en la Figura 73.

**Figura 73**

*Comparación de Torque Máximo*



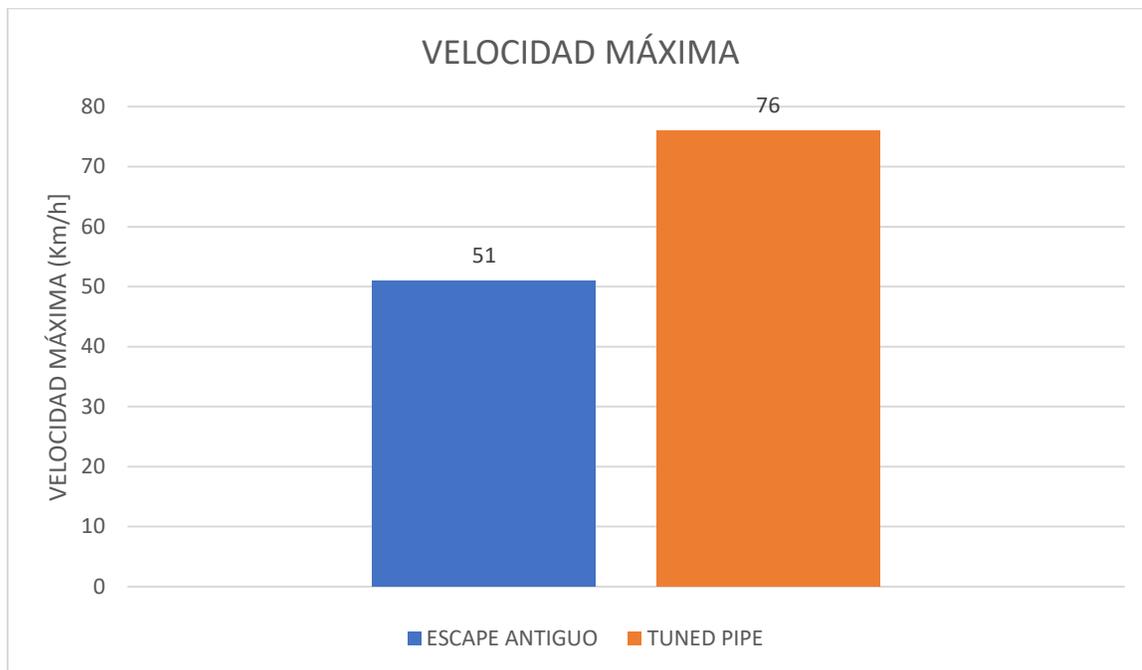
*Nota.* En la figura se observa la comparación de resultados de torque máximo alcanzado con el sistema de escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe.

#### **4.5.3. Resultados de velocidad máxima**

En este caso, el motor del Go Kart con el escape antiguo alcanza una velocidad máxima de 51 Km/h, mientras que con el sistema de escape Tuned Pipe incorporado se logró una velocidad de 76 Km/h, ésta diferencia de 25 Km/h representa una mejora del 49% en la velocidad punta del Go Kart. Los resultados son observados en la Figura 74.

**Figura 74**

*Comparación de Velocidad Máxima*



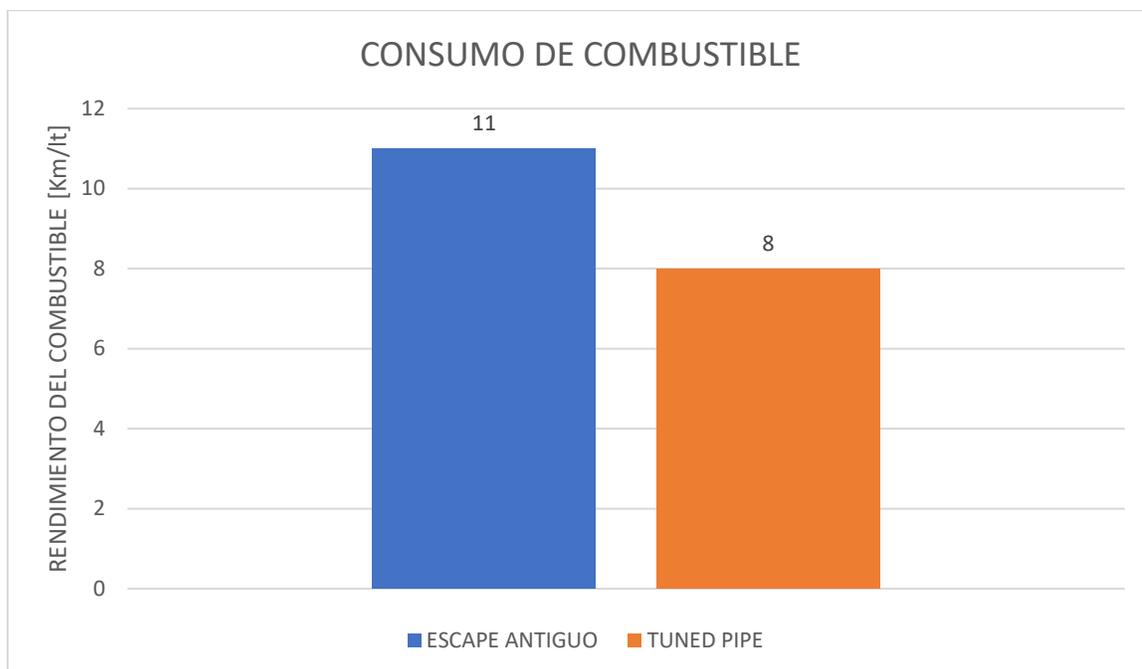
*Nota.* En la figura se observa la comparación de resultados de velocidad máxima desarrollada por el motor con el sistema de escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe.

#### **4.5.4. Resultados de consumo de combustible**

El motor del Go Kart, con el sistema de escape incorporado, tiene un consumo de combustible de 11 km/lt, mientras que, con el sistema de escape Tuned Pipe el rendimiento del combustible disminuye a 8 km/lt, esto representa una disminución del 27.27% en la autonomía. Los resultados están indicados en la Figura 75.

**Figura 75**

*Comparación de Consumo de Combustible*



*Nota.* En la figura se observa la comparación de resultados del rendimiento de combustible con el sistema de escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe.

#### **4.5.5. Valores iniciales y finales del Go Kart**

Los resultados validan, en este caso, la implementación del sistema de escape Tuned Pipe al motor dos tiempos del Go Kart, obteniendo ganancias en parámetros de rendimiento. La potencia final se incrementó de 3.70 HP a 7.20 HP lo que representa una ganancia del 94.59%, el torque máximo se incrementó de 2.90 lb\*ft a 4.70 lb\*ft mejorando en un 62.07%, por último, la velocidad final se mejoró en un 49% logrando los 76 km/h con el sistema de escape Tuned Pipe comparados con los 51 km/h obtenidos con el sistema de escape antiguo.

La única pérdida que se produce es en el rendimiento del combustible puesto que se reduce en un 27.27% haciendo que la autonomía se reduzca en 11.35 km,

dando una autonomía total de 30.28 km lo cual no sería un inconveniente ya que las competencias en las que participa el Go Kart no son de la larga duración y no se recorren largas distancias entre válidas.

**Tabla 32**

*Valores Iniciales y Finales del Go Kart*

<b>VALORES INICIALES Y FINALES DEL GO KART</b>			
	ESCAPE	TUNED	PORCENTAJE
	ANTIGUO	PIPE	[%]
POTENCIA MÁXIMA [HP]	3.70	7.20	94.59
TORQUE MÁXIMO [LB*FT]	2.90	4.70	62.07
VELOCIDAD MÁXIMA [KM/H]	51	76	49
RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE [KM/LT]	11	8	-27.27
AUTONOMÍA [KM]	41.63	30.28	-27.27

*Nota.* En la tabla se observa la comparación de resultados iniciales y finales obtenidos mediante las pruebas dinamométricas y de pista realizadas al Go Kart.

## Capítulo V

### 5. Marco Administrativo

#### 5.1. Recursos

Para que la realización del presente proyecto de investigación sea de manera factible, se consideró los siguientes recursos.

##### 5.1.1. Recursos humanos

Los recursos humanos que formaron parte de la investigación se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 33**

*Recursos Humanos*

ORDEN	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN
1	Sr. Mejía Echeverría, Felipe Luciano	Investigador
2	Sr. Sánchez Almeida, Jimmy Alexander	Investigador
3	Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio	Director de tesis Colaborador científico

##### 5.1.2. Recursos tecnológicos

Para el desarrollo del presente proyecto fue necesario contar con diferentes equipos tecnológicos que facilitaran su elaboración los cuales se mencionan en la tabla.

**Tabla 34***Recursos Tecnológicos*

ORDEN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
			UNITARIO	TOTAL
1.	Computador portátil	1	700.00	700.00
2.	Termómetro digital	1	20.00	20.00
3.	Decibelímetro portátil	1	30.00	30.00
4.	Celular	1	200.00	200.00
5.	Horas de Internet			100.00
Total				1050.00

**5.1.3. Recursos materiales**

En los recursos materiales intervienen todos los materiales que fueron necesarios para la construcción e implementación del proyecto de investigación, dichos recursos se describen en la Tabla 35.

**Tabla 35***Recursos Materiales*

ORDEN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
			UNITARIO	TOTAL
1.	Plancha de acero inoxidable 304, 1mm de espesor	1	93.00	93.00
2.	Tubo de acero 304, 1.5mm de espesor	1	6.00	6.00
3.	Kit de herramientas	1	50.00	50.00
4.	Kit de repuestos	1	40	40.00
5.	Galones de combustible	3	3.17	9.51
Total				198.51

**5.2. Presupuesto****5.2.1. Costos de construcción**

En este apartado se consideran los costos de los procesos utilizados en la construcción.

**Tabla 36***Costo de Construcción del Sistema de Escape Tuned Pipe*

ORDEN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
			UNITARIO	TOTAL
1.	Proceso de corte láser	1	30.00	30.00
2.	Proceso de soldadura	1	150.00	150.00
Total				180.00

**5.2.2. Costos de pruebas de laboratorio**

Los costos de las pruebas de laboratorio realizadas en el dinamómetro son especificados en la Tabla 37.

**Tabla 37***Costos de Pruebas de Laboratorio*

ORDEN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
		[HORAS]	UNITARIO	TOTAL
1.	Uso del dinamómetro	1	60.00	60.00
Total				60.00

### 5.2.3. Costos de pruebas de pista

**Tabla 38**

*Costo de Pruebas de Pista*

ORDEN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO
			UNITARIO	TOTAL
1.	Uso de pista del Kartódromo	1	20.00	20.00
2.	Equipo de seguridad	2	20.00	40.00
Total				60.00

### 5.2.4. Costo total de la investigación

En este apartado se consideran todos los costos del proyecto de investigación incluyendo un porcentaje de imprevistos descritos en la Tabla 39.

**Tabla 39**

*Costo Total de la Investigación*

DESCRIPCIÓN	VALOR
Recursos tecnológicos	1050.00
Recursos materiales	198.51
Costos de construcción	180.00
Costos de pruebas de laboratorio	60.00
Costos de pruebas de pista	60.00
Costo de movilidad y alimentación	100.00

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Imprevistos	164.85
Total	1813.36

## Capítulo VI

### 6. Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

- Según lo investigado sobre el funcionamiento de los motores de 2 tiempos, en el tiempo de escape, existe una pérdida volumétrica de mezcla fresca de aire/combustible por lo que se hace necesario el desarrollo de un sistema de escape capaz de minimizar este efecto mejorando su eficiencia y rendimiento.
- Analizadas las especificaciones del motor AX100 que consta como unidad de potencia del Go Kart de la Universidad de las Fuerzas Armadas, es necesario el diseño de un sistema de escape Tuned Pipe con un diámetro inicial de 33mm el cual se acopla a la lumbrera de escape del motor, seguido de una sección con un diámetro de 107.27mm como elemento de resonancia y un agujón de salida de 23.1mm de diámetro para la evacuación de gases combustionados, con un diseño que permita el cumplimiento de la normativa CIK-FIA.
- Con el diseño elaborado y probado a través de un prototipo rápido sobre el Go Kart se procedió a realizar un estudio fluidodinámico para analizar el flujo de gases en el sistema de escape Tuned Pipe comprendiendo el reflujo de gases combustionados existentes que influyen en la reinserción de combustible perdido por la lumbrera en el tiempo de escape.
- Se implementó el sistema de escape Tuned Pipe cumpliendo los parámetros de diseño establecidos, mediante el ensamble de 11 piezas de acero

inoxidable 304 de 1mm de espesor unidas a través de soldadura obteniendo un producto que se adecua perfectamente a las dimensiones del motor.

- Con las pruebas de laboratorio y de pista realizadas al Go Kart con la implementación del sistema de escape Tuned Pipe se observa que se obtiene una potencia de 7.20 HP con un torque de 4.70 lb\*ft, velocidad máxima de 76 km/h, un rendimiento del combustible de 8km/lt y una autonomía de 30.28km.
- Mediante los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y de pista comparado el sistema de escape antiguo y el sistema de escape Tuned Pipe se obtuvo una mejoría de 94.59% en la potencia máxima, 62.07% en torque máximo y 49% de velocidad máxima, sin embargo, el rendimiento del combustible se ve afectado directamente, reduciendo su autonomía en un 27.27%.
- La implementación del sistema de escape Tuned Pipe genera un incremento de potencia la cual exige una mayor cantidad de aire como también de combustible, por lo que su consumo aumenta en un 27.27%.

## **6.2. Recomendaciones**

- Analizar el funcionamiento del sistema de escape Tuned Pipe utilizando sensores instalados en diferentes puntos del sistema realizando una validación con el estudio fluidodinámico por computador.
- Realizar un análisis experimentando con combustible de diferente octanaje, así como también variando la proporción de la mezcla combustible y aceite para identificar la variación de los parámetros de rendimiento del motor.

- Ejecutar un proceso de optimización al diseño original tomando nuevamente todos los datos necesarios y recalculando el diseño del escape con la finalidad de obtener mejores resultados considerando que con cada optimización puede aumentar el porcentaje de perfeccionamiento.
- Generar un estudio de silenciadores que permitan la reducción de ruido sin comprometer la potencia máxima alcanzada con la implementación del sistema de escape Tuned Pipe.

## Bibliografía

- Acebes, S. S. (2007). *Motores*. Editex. Recuperado el 8 de febrero del 2021 de [https://books.google.com.ec/books?id=Q10pDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Q10pDwAAQBAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Aniekan, I., Ejiroghene, O., & Abdulsamad, G. (2017). Engineering Material Selection for Automotive Exhaust Systems Using CES Software. *INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIES-IJET*, 50-60.
- Arbeloa Murillo, M. (2010). *Puesta a punto de un motor de 2 tiempos*. [Tesis de pregrado, Universidad Pública de Navarra]. Academica-e. Recuperado el 12 de febrero del 2021 de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/1862>
- Arias-Paz, M. (2003). *Motocicletas*. (32<sup>a</sup> ed.). Dossat 2000. Recuperado el 20 de febrero del 2021 de <http://ceb.ac.in/knowledge-center/E-BOOKS/Mec%C3%A1nica%20de%20motocicletas%20-%20Arias%20Paz%20ES.pdf>
- Banish, G. (2007). *Engine management: Advanced tuning* (Vol. 135). CarTech Inc. Recuperado el 15 de febrero del 2021 de <https://es.scribd.com/doc/128188486/Engine-Management-Advanced-Tuning>
- Benajes, J. y Navarro, E. (2011). Clasificación de los MCIAs. En Payri, F. y Desantes, J. *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politècnica de valencia. Recuperado el 15 de febrero del 2021 de [https://www.academia.edu/38247431/Motores\\_de\\_Combustion\\_Interna\\_Alternativos\\_Payri](https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri)

- BERU. (2021). *Todo sobre bujías de encendido*. Recuperado el 17 de febrero del 2021 de <https://www.grovisa.com/grovisa/mybox/cms/1801.pdf>
- Blair, G. (1996). *Design and Simulation of TWO STROKES ENGINES*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, Inc. Recuperado el 17 de febrero del 2021 de <http://contiman.free.fr/dossier%20%20temps/Design%20and%20Simulation%20of%20Two%20Stroke%20Engines%20GP%20BLAIR.pdf>
- Cartwright, A., & Fleck, R. (1994). A Detailed Investigation of Exhaust System Design in High Performance Two-Stroke Engines. *Sae International*, 131-147.
- Climent, H. y Giménez, B. (2011). Renovación de la carga en motores de 2T. En Payri, F. y Desantes, J. *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politécnica de valencia. Recuperado el 25 de febrero del 2021 de [https://www.academia.edu/38247431/Motores\\_de\\_Combustion\\_Interna\\_Alternativos\\_Payri](https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri)
- Díaz-Solórzano, S. y González-Díaz, L. (2010). Reflexiones sobre los conceptos velocidad y rapidez de una partícula en física. *Revista Mexicana de Física E*, 56(2), 181-189. Recuperado el 24 de febrero del 2021 de [https://rmf.smf.mx/pdf/rmf-e/56/2/56\\_2\\_181.pdf](https://rmf.smf.mx/pdf/rmf-e/56/2/56_2_181.pdf)
- EQUIPE ESSS. (24 de Junio de 2016). *Dinámica de Fluidos Computacional: ¿que es?* Recuperado el 22 de febrero del 2021 de <https://www.esss.co/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>
- Gibson, A. (1996). Selection and Performance of Automotive Exhaust System Materials: A North American Perspective. *SAE TECHNICAL PAPER SERIES*, 1-9.

González Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. (2<sup>da</sup> ed.).

Ediciones Paraninfo, SA. Recuperado el 28 de febrero del 2021 de

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=19ASCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Motores+t%C3%A9rmicos+y+sus+sistemas+auxiliares&ots=KvZreKmVIm&sig=oikMldhw6\\_y012n-](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=19ASCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Motores+t%C3%A9rmicos+y+sus+sistemas+auxiliares&ots=KvZreKmVIm&sig=oikMldhw6_y012n-)

[ES9afDwxgiA&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Motores%20t%C3%A9rmicos%20y%20sus%20sistemas%20auxiliares&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=19ASCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Motores+t%C3%A9rmicos+y+sus+sistemas+auxiliares&ots=KvZreKmVIm&sig=oikMldhw6_y012n-ES9afDwxgiA&redir_esc=y#v=onepage&q=Motores%20t%C3%A9rmicos%20y%20sus%20sistemas%20auxiliares&f=false)

Graham, B. (1999). *Two Strokes Performance Tuning*. Haynes Pub.

Gustafsson, R. (2006). A Practical Application to Reduce Exhausts Emissions on a Two-Stroke Engine with a Tuned Exhaust Pipe. *SAE TECHNICAL PAPER SERIES*, 1-10.

Gustafsson, R., Blair, G., & Jonsson, B. (2001). Reducing Exhaust Emissions and Increasing Power Output Using a Tuned Exhaust Pipe on a Two-Stroke Engine. *SAE TECHNICAL PAPER SERIES*, 1-11.

Gutiérrez, M. S. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*.

*TMVG0409: Mantenimiento del motor y sus sistemas auxiliares*. IC Editorial.

Recuperado el 28 de febrero del 2021 de

[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=t1QpEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=Mantenimiento+de+motores+t%C3%A9rmicos+de+dos+y+cuatro+tiempos.&ots=tq\\_qjIQjiv&sig=rBf3OihLP7hyTZs4YrYz9ruEtx0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Mantenimiento%20de%20motores%20t%C3%A9rmicos%20de%20dos%20y%20cuatro%20tiempos.&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=t1QpEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=Mantenimiento+de+motores+t%C3%A9rmicos+de+dos+y+cuatro+tiempos.&ots=tq_qjIQjiv&sig=rBf3OihLP7hyTZs4YrYz9ruEtx0&redir_esc=y#v=onepage&q=Mantenimiento%20de%20motores%20t%C3%A9rmicos%20de%20dos%20y%20cuatro%20tiempos.&f=false)

Hernández, V. (2007). *PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO DE INERCIA ELECTRÓNICO COMPUTARIZADO* . Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .

IIRSACERO. (2021). *Acero Inoxidable 304*. Recuperado el 1 de marzo del 2021 de <http://iirsacero.com.mx/>: <http://iirsacero.com.mx/wp-content/uploads/2019/10/Ficha-T%C3%A9cnica-Acero-Inoxidable-304-iirsacero.pdf>

Indura. (2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Indura.  
[https://www.academia.edu/22901296/Manual\\_de\\_Soldadura\\_INDURA](https://www.academia.edu/22901296/Manual_de_Soldadura_INDURA)

Jennins, G. (2007). *Tuners Handbook*. H. P. Books.

Kartódromo Cotopaxi. (2021, 21 de junio). Pista. Recuperado el 28 de febrero del 2021 de <https://kartodromocotopaxi.com/pista/>

MATMATCH. (2021). *ASTM 463*. Recuperado el 27 de febrero del 2021 de <https://matmatch.com/es/materials/minfm65992-astm-a463-grade-fs-aluminum-coated-by-the-hot-dip-process>

Molera Solá, P. (1992). *Soldadura industrial: clases y aplicaciones* (Vol. 56). Marcombo.  
Recuperado el 20 de febrero del 2021 de [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=KoEH9EkR48gC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Soldadura+industrial:+clases+y+aplicaciones+molera&ots=33HxbDK55u&sig=ZnLd6JChP54uAHQAUGxoXSC1ENo&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Soldadura%20industrial%3A%20clases%20y%20aplicaciones%20molera&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=KoEH9EkR48gC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Soldadura+industrial:+clases+y+aplicaciones+molera&ots=33HxbDK55u&sig=ZnLd6JChP54uAHQAUGxoXSC1ENo&redir_esc=y#v=onepage&q=Soldadura%20industrial%3A%20clases%20y%20aplicaciones%20molera&f=false)

- Murillo, M. A. (2010). *Puesta a punto de un motor de 2 tiempos* [Tesis de Pregrado, Universidad Pública de Navarra]. Pamplona. Recuperado el 21 de febrero del 2021 de <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/1862>
- NKS. (2021). *ACERO INOXIDABLE 409*. Recuperado el 20 de febrero del 2021 de <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-409/>
- NKS. (2021). *ACEROS INOXIDABLE 304 Y 304L*. Recuperado el 20 de febrero del 2021 de <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-304/>
- POLOSOFT TECHNOLOGIES. (2021). CAD for Automotive Industry. Recuperado el 2 de marzo del 2021 de <https://www.polosoftech.com/industries/cad-automotive/>
- Riesco, G. H., Ruíz, J. L. D. y Marcos, B. P. (1996). *Manual del soldador*. Cesol. Recuperado el 1 de marzo del 2021 de <https://pdfcookie.com/documents/manual-del-soldador-cesol-ov14j897e8v1>
- Robinson, J. (1995). *Motocicletas. Puesta a punto de motores de 2 tiempos*. (3<sup>ra</sup> ed.). Paraninfo. Recuperado el 2 de marzo del 2021 de <https://es.scribd.com/doc/21521224/Jhon-Robinson-Puesta-a-Punto-de-Motores-de-2-Tiempos>
- Rodríguez, L. M. y Navarro, E. (2011). Encendido eléctrico. En Payri, F. y Desantes, J. *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politècnica de valencia. Recuperado el 24 de febrero de 2021 de [https://www.academia.edu/38247431/Motores\\_de\\_Combustion\\_Interna\\_Alternativos\\_Payri](https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri)

Rojas, O., & Rojas, L. (2006). Diseño asistido por computador. *DISEÑO Y TECNOLOGÍA*, 1-10.

Semblantes, Y., & Chilibingua, E. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RECAMARA DE ESCAPE "TUNED PIPE" PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS SUZUKI AX 100*.  
Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.

SEMBLANTES, Y., & CHILIBINGUA, E. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA RECAMARA DE ESCAPE "TUNED PIPE" PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE UN MOTOR DE DOS TIEMPOS SUZUKI AX 100*.  
Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.

SENER; CONUEE. (2020). *RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS LIGEROS DE VENTA EN MÉXICO*. México. Recuperado el 24 de febrero del 2021 de  
[https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/transporte/Rendimiento\\_vehicular/Catalogo\\_de\\_Rendimientos\\_2020\\_v20.03\\_2.pdf](https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/transporte/Rendimiento_vehicular/Catalogo_de_Rendimientos_2020_v20.03_2.pdf)

SIEMENS. (2021). *Diseño asistido por ordenador (CAD)*. Recuperado el 20 de febrero del 2021 de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>

Tinaut, F y Horrillo, A. (2011). Requerimientos y formación de la mezcla en MEP. En Payri, F. y Desantes, J. *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politécnica de valencia. Recuperado el 26 de febrero del 2021 de [https://www.academia.edu/38247431/Motores\\_de\\_Combustion\\_Interna\\_Alternativos\\_Payri](https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri)

- Torregrosa, A. y Olmeda, P. (2011). Pérdidas de calor. Refrigeración. En Payri, F. y Desantes, J. *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politécnica de valencia. Recuperado el 1 de marzo del 2021 de [https://www.academia.edu/38247431/Motores\\_de\\_Combustion\\_Interna\\_Alternativos\\_Payri](https://www.academia.edu/38247431/Motores_de_Combustion_Interna_Alternativos_Payri)
- Vicente, M. C. (1966). *Trucaje de motores de 2 tiempos*. (7ma ed.). Ediciones CEAC. Recuperado el 14 de febrero del 2021 de <https://es.scribd.com/document/171559069/Trucaje-de-Motores-de-2-Tiempos>
- Zsiga, G., Kerres, R., Bach, M., & Fuoss, K. (2010). Potential of Expansion Chamber Exhaust Pipes for Two-Stroke Powered Tools. *SAE International*, 1-12.

# Anexos