



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL MÚLTIPLE DE ESCAPE DE UN MOTOR CHEVROLET CORSA 1300CC MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL Y SU VALIDACIÓN EN UN DINAMÓMETRO DE RODILLOS”**

##### **Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

##### **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

##### **AUTORES:**

JORGE ARIEL SALAS PAZMIÑO

SANTIAGO ISRAEL OBANDO GADVAY

Riobamba – Ecuador

2021



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA**

### **CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

#### **“DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL MÚLTIPLE DE ESCAPE DE UN MOTOR CHEVROLET CORSA 1300CC MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL Y SU VALIDACIÓN EN UN DINAMÓMETRO DE RODILLOS”**

##### **Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para obtener el grado académico de:

##### **INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: JORGE ARIEL SALAS PAZMIÑO**

**SANTIAGO ISRAEL OBANDO GADVAY**

**DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS ROCHA HOYOS**

Riobamba – Ecuador

2021

**©2021, Jorge Ariel Salas Pazmiño; y Santiago Israel Obando Gadvay**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

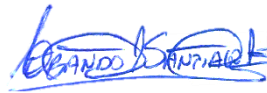
Nosotros, Jorge Ariel Salas Pazmiño y Santiago Israel Obando Gadway, declaramos que el presente trabajo de integración curricular es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Riobamba, 15 de diciembre del 2021



Jorge Ariel Salas Pazmiño  
025018496-7



Santiago Israel Obando Gadway  
060353720-0

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL MÚLTIPLE DE ESCAPE DE UN MOTOR CHEVROLET CORSA 1300CC MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL Y SU VALIDACIÓN EN UN DINAMÓMETRO DE RODILLOS**” realizado por los señores **JORGE ARIEL SALAS PAZMIÑO** y **SANTIAGO ISRAEL OBANDO GADVAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Msc. Elvis Enrique Arguello <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2021-12-15
Ing. Msc. Juan Carlos Rocha Hoyos <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2021-12-15
Ing. Msc. Rodrigo Rigoberto Moreno Pallares <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2021-12-15

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación va dedicado a toda mi familia y amigos que de alguna u otra manera estuvieron siempre pendientes de mi vida persona y también la estudiantil; pero de manera especial a mi madre Marcia María Gadway Tixe ya que ella fue mi pilar primordial en este proceso ya que muchas de las veces estuve por quebrarme y no seguir más, pero el ánimo y dedicación de ella es la que me sostuvo para poder culminar todo este proceso.

Santiago Israel Obando Gadway

Este trabajo va dedicado de manera especial a toda mi familia y amigos que supieron ayudarme durante el proceso de mi formación académica, en especial a mis padres Jorge Raúl y Gina Pazmiño que siempre estuvieron pendientes de mí, motivándome día a día y forjando la persona que ahora soy.

Jorge Ariel Salas Pazmiño

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la vida y brindarme el apoyo de todas las personas que me motivaron para poder continuar, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución; a todo el cuerpo de docentes que a lo largo del camino estudiantil supieron educarme en lo académico y en lo personal, aconsejarme para poder lograr este paso más a mi vida y a todas las personas que supieron manifestar su sincero cariño para poder culminar esta etapa.

Santiago Israel Obando Gadvay

Agradezco a mi familia en especial a mis padres por darme la oportunidad de seguir mis estudios en la universidad, por brindarme todo el apoyo que necesite en este largo camino para poder formarme como un profesional, a los docentes que me brindaron su conocimiento y sus enseñanzas no solo de las materias correspondientes si no enseñanzas que me ayudaron a seguir en la vida.

Jorge Ariel Salas Pazmiño

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPITULO I

1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento del problema.....	2
1.3.	Justificación.....	2
1.4.	Objetivos.....	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	4

### CAPITULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1.	Historia de los motores de combustión interna.....	5
2.2.	Motores de combustión interna.....	6
2.2.1.	<i>Motor de cuatro tiempos</i> .....	7
2.2.2.	<i>Ciclo OTTO teórico</i> .....	8
2.2.3.	<i>Ciclo Otto real</i> .....	9
2.2.4.	<i>Mecanismo Biela- Manivela</i> .....	10



2.2.4.1.	<i>Eficiencia volumétrica</i> .....	11
<b>2.3.</b>	<b>Sistema de escape</b> .....	12
2.3.1.	<i>Catalizador</i> .....	12
2.3.2.	<i>Silenciador</i> .....	13
<b>2.4.</b>	<b>Colector de escape</b> .....	14
2.4.1.	<i>Configuración de los múltiples de escape</i> .....	16
2.4.1.1.	<i>Configuración 4-2-1</i> .....	16
2.4.1.2.	<i>Configuración 4-1</i> .....	17
2.4.2.	<i>Ondas de presión durante el proceso de escape de los gases</i> .....	18
2.4.3.	<i>Propagación de ondas de escape</i> .....	19
2.4.4.	<i>Minimizar la pérdida de carga</i> .....	20
2.4.5.	<i>Aprovechar las ondas de presión</i> .....	20
2.4.6.	<i>Efectos de la configuración del múltiple de escape</i> .....	21
2.4.7.	<i>Cálculo del sistema de escape</i> .....	22
2.4.7.1.	<i>Correlaciones de A. Graham Bell Colector 4-1</i> .....	22
2.4.7.2.	<i>Correlaciones de A. Graham Bell Colector 4-2-1</i> .....	23
2.4.7.3.	<i>Correlaciones de Stefano Gillieri</i> .....	24
2.4.7.4.	<i>Torque de un motor de combustión interna</i> .....	25
2.4.7.5.	<i>Potencia de un MCI</i> .....	26
2.4.8.	<i>Análisis ID</i> .....	27
2.4.9.	<i>Banco de pruebas de motores</i> .....	27
2.4.9.1.	<i>Dinamómetro</i> .....	27
2.4.9.2.	<i>Dinamómetro de motor</i> .....	28
2.4.9.3.	<i>Dinamómetro de rodillos</i> .....	28

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	30
3.1.	<b>Datos técnicos del vehículo en estudio</b> .....	30

<b>3.2.</b>	<b>Diagrama de etapas del proyecto .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.</b>	<b>Metodología de investigación a realizar.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.</b>	<b>Cronograma de actividades .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.</b>	<b>Recursos y materiales .....</b>	<b>34</b>
<b>3.5.1.</b>	<b><i>Costos Directos.....</i></b>	<b>34</b>
<b>3.5.2.</b>	<b><i>Costos Indirectos de Fabricación.....</i></b>	<b>34</b>
<b>3.5.3.</b>	<b><i>Costo del proceso de soldadura .....</i></b>	<b>34</b>
<b>3.5.4.</b>	<b><i>Materiales.....</i></b>	<b>34</b>
<b>3.5.5.</b>	<b><i>Recursos humanos.....</i></b>	<b>35</b>
<b>3.5.6.1.</b>	<b><i>Costos Indirectos de Fabricación.....</i></b>	<b>36</b>
<b>3.5.6.2.</b>	<b><i>Costo total de fabricación del sistema del múltiple de escape.....</i></b>	<b>36</b>
<b>3.5.6.3.</b>	<b><i>Costos Pruebas en Dinamómetro .....</i></b>	<b>37</b>
<b>3.5.6.4.</b>	<b><i>Costos Varios.....</i></b>	<b>37</b>
<b>3.6.</b>	<b>Procedimiento.....</b>	<b>38</b>
<b>3.6.6.</b>	<b><i>Revision del estado del vehículo.....</i></b>	<b>38</b>
<b>3.6.7.</b>	<b><i>Cálculo de longitudes y diámetro internos.....</i></b>	<b>38</b>
<b>3.6.7.3.</b>	<b><i>Sistema 4-1 .....</i></b>	<b>39</b>
<b>3.6.7.4.</b>	<b><i>Sistema 4-2-1 .....</i></b>	<b>40</b>
<b>3.7.</b>	<b>Simulación 1D .....</b>	<b>41</b>
<b>3.7.1.</b>	<b><i>Sistema de admisión.....</i></b>	<b>44</b>
<b>3.7.1.1.</b>	<b><i>Datos de la sección A. Sistema de admisión.....</i></b>	<b>44</b>
<b>3.7.1.2.</b>	<b><i>Datos de la sección B. Sistema de admisión.....</i></b>	<b>45</b>
<b>3.7.1.3.</b>	<b><i>Datos de la sección C. Sistema de admisión .....</i></b>	<b>45</b>
<b>3.7.1.4.</b>	<b><i>Datos técnicos de los conductos de admisión.....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.7.2.</b>	<b><i>Sistema de escape.....</i></b>	<b>46</b>
<b>3.7.2.1.</b>	<b><i>Datos de la sección A. Sistema de escape .....</i></b>	<b>47</b>
<b>3.7.3.</b>	<b><i>Simulación con un sistemas 4-1.....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.7.4.</b>	<b><i>Simulación con un sistemas 4-2-1.....</i></b>	<b>50</b>
<b>3.7.5.</b>	<b><i>Diseño 3D.....</i></b>	<b>51</b>

3.5.4.1.	<i>Sistema 4-1</i> .....	51
3.7.5.1.	<i>Sistema 4-2-1</i> .....	52
3.7.6.	<b>Construcción del múltiple</b> .....	53

## CAPITULO IV

<b>4.</b>	<b>Resultados</b> .....	55
<b>4.1.</b>	<b>Resultados de Potencia máxima a partir de la simulación 1D</b> .....	55
<b>4.2.</b>	<b>Pruebas dinamométricas. Colector de escape original</b> .....	56
4.2.1.	<i>Ensayo N. 1. Colector de escape original</i> .....	56
4.2.2.	<i>Ensayo N. 2. Colector de escape original</i> .....	57
4.2.3.	<i>Ensayo N. 3. Colector de escape original</i> .....	58
<b>4.3.</b>	<b>Pruebas dinamométricas. Colector de escape 4-1</b> .....	60
4.3.1.	<i>Ensayo N. 1. Colector de escape 4-1</i> .....	60
4.3.2.	<i>Ensayo N. 2. Colector de escape 4-1</i> .....	62
4.3.3.	<i>Ensayo N. 3. Colector de escape 4-1</i> .....	63
<b>4.4.</b>	<b>Pruebas dinamométricas. Colector de escape 4-2-1</b> .....	64
4.4.1.	<i>Ensayo N. 1. Colector de escape 4-2-1</i> .....	64
4.4.2.	<i>Ensayo N. 2. Colector de escape 4-2-1</i> .....	66
4.4.3.	<i>Ensayo N. 3. Colector de escape 4-2-1</i> .....	66
<b>4.5.</b>	<b>Análisis Comparativo</b> .....	68
4.5.1.	<i>Comparacion de datos entre la simulacion y la validacion en el dinamometro</i> ..	68
4.5.1.1.	<i>Múltiple de escape original</i> .....	68
4.5.2.	<i>Multiple configuracion 4-2-1 prototipo D</i> .....	69
4.5.3.	<i>Multiple configuracion 4-1 prototipo B</i> .....	69
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	71
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	73

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Características generales del vehículo .....	30
<b>Tabla 2-3:</b>	Características técnicas del vehículo .....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Transmisión .....	31
<b>Tabla 4-3:</b>	Cronograma de actividades.....	33
<b>Tabla 5-3:</b>	Salario mensual obrero Ecuador .....	34
<b>Tabla 6-3:</b>	Costos Materiales .....	35
<b>Tabla 7-3:</b>	Costo de mano de obra .....	35
<b>Tabla 8-3:</b>	Costos indirectos de fabricación.....	36
<b>Tabla 9-3:</b>	Elementos indirectos de fabricación .....	36
<b>Tabla 10-3:</b>	Costo total.....	37
<b>Tabla 11-3:</b>	Costos de pruebas en dinamómetro .....	37
<b>Tabla 12-3:</b>	Costos Varios.....	37
<b>Tabla 13-3:</b>	Elementos empleados para la simulación 1D en el software OpenWAM. 42	
<b>Tabla 14-3:</b>	Dimensiones de los ductos de la sección B y C del múltiple de escape con configuración 4-1 .....	49
<b>Tabla 15-3:</b>	Resultados obtenidos de la simulación 1D del múltiple de escape con configuración 4-1 .....	49
<b>Tabla 16-3:</b>	Resultados obtenidos de la simulación 1D del múltiple de escape con configuración 4-2-1 .....	50
<b>Tabla 17-3:</b>	Resultados obtenidos de la simulación 1D del múltiple de escape con configuración 4-2-1 .....	51
<b>Tabla 1-4:</b>	Resultados ensayo N.1.Sistema de escape original .....	57
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados ensayo N.2. Sistema de escape original .....	58
<b>Tabla 3-4:</b>	Ensayo N. 3. Colector de escape original .....	59
<b>Tabla 4-4:</b>	Pruebas dinamométricas. Sistema de escape original.....	60
<b>Tabla 5-4:</b>	Ensayo N. 1. Colector de escape, configuración 4-1 .....	61
<b>Tabla 6-4:</b>	Ensayo N. 2. Colector de escape, configuración 4-1 .....	62
<b>Tabla 7-4:</b>	Ensayo N. 3. Colector de escape, configuración 4-1 .....	63
<b>Tabla 8-4:</b>	Pruebas dinamométricas. Sistema de escape, configuración 4-1.....	64
<b>Tabla 9-4:</b>	Ensayo N. 1. Colector de escape, configuración 4-2-1.....	65
<b>Tabla 10-4:</b>	Ensayo N. 2. Colector de escape, configuración 4-2-1.....	66
<b>Tabla 11-4:</b>	Ensayo N. 3. Colector de escape, configuración 4-2-1.....	67
<b>Tabla 12-4:</b>	Pruebas dinamométricas. Sistema de escape, configuración 4-2-1 .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Fases de un MCI de 4 tiempos: a) Admisión, b) Compresión, C) Explosión, d) Escape .....	7
<b>Figura 2-2:</b>	Ciclo Otto teórico.....	9
<b>Figura 3-2:</b>	Ciclo OTTO real vs teórico.....	10
<b>Figura 4-2:</b>	Fuerzas presentes en un mecanismo biela-manivela.....	11
<b>Figura 5-2:</b>	Catalizador Automotriz.....	13
<b>Figura 6-2:</b>	Silenciador de gases de escape.....	13
<b>Figura 7-2:</b>	Colector de escape .....	15
<b>Figura 8-2:</b>	Múltiple de escape configuración 4-2-1.....	17
<b>Figura 9-2:</b>	Colector de escape configuración 4-1 .....	18
<b>Figura 10-2:</b>	Fases de generación de la onda de presión.....	19
<b>Figura 11-2:</b>	Sistema de escape configuración 4-1 .....	22
<b>Figura 12-2:</b>	Parámetros de diseño colector de escape 4-2-1.....	23
<b>Figura 13-2:</b>	Curva del torque de un MCI.....	25
<b>Figura 14-2:</b>	Curva de par y potencia de un MCI .....	26
<b>Figura 15-2:</b>	Dinamómetro de motor .....	28
<b>Figura 16-2:</b>	Dinamómetro de rodillo .....	29
<b>Figura 1-3:</b>	Vehículo Corsa.....	31
<b>Figura 2-3:</b>	Diagramas de etapas del proyecto.....	32
<b>Figura 3-3:</b>	Escáner Chevy Corsa Wind 1300cc.....	38
<b>Figura 4-3:</b>	Dimensiones para un múltiple de escape de configuración 4-1 .....	40
<b>Figura 5-3:</b>	Dimensiones para un múltiple de escape de configuración 4-2-.....	41
<b>Figura 6-3:</b>	Datos generales del motor Chevrolet CORSA 1300 cc. ....	43
<b>Figura 7-3:</b>	Parámetros de cálculo para la simulación 1D en el software OpenWAM.....	43
<b>Figura 8-3:</b>	Sistema de admisión generado en el software OpenWAM.....	44
<b>Figura 9-3:</b>	Datos de la sección A.....	44
<b>Figura 10-3:</b>	Datos ingresados correspondientes a la cámara de admisión.....	45
<b>Figura 11-3:</b>	Datos ingresados correspondientes al colector de admisión .....	45
<b>Figura 12-3:</b>	Datos ingresados correspondientes a las válvulas de admisión .....	45
<b>Figura 13-3:</b>	Datos ingresados correspondientes a los conductos de admisión .....	46
<b>Figura 14-3:</b>	Sistema de escape generado en el software OpenWAM.....	47
<b>Figura 15-3:</b>	Datos ingresados correspondientes a las válvulas de escape .....	47
<b>Figura 16-3:</b>	Datos ingresados correspondientes a los ductos de escape .....	48
<b>Figura 17-3:</b>	Circuito de un sistema de escape 4-1. Motor Chevrolet Corsa 1300cc.....	49

<b>Figura 18-3:</b>	Circuito de un sistema de escape 4-2-1. Motor Chevrolet Corsa 1300cc. ....	50
<b>Figura 19-3:</b>	Modelado 3D de un múltiple de escape 4-1.....	51
<b>Figura 20-3:</b>	Simulación de esfuerzos.....	52
<b>Figura 21-3:</b>	Modelado 3D de un múltiple de escape 4-2-1.....	52
<b>Figura 22-3:</b>	Simulación de esfuerzos.....	53
<b>Figura 23-3:</b>	Soporte que une el sistema de escape al block del motor .....	53
<b>Figura 24-3:</b>	Proceso de doblado. ....	54
<b>Figura 25-3:</b>	A) Soldadura eléctrica de los tubos B) pulida externa C) Pintada del múltiple terminado.....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Resultados de potencia máxima del vehículo Chevrolet 1300 cc a un régimen de 5200 rpm.....	55
<b>Gráfico 2-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo 1, colector de escape original.....	57
<b>Gráfico 3-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo 2, colector de escape original .....	58
<b>Gráfico 4-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo 3, colector de escape original .....	59
<b>Gráfico 5-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 1- múltiple de escape con configuración 4-1. ....	61
<b>Gráfico 6-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo 2, colector de escape original.....	62
<b>Gráfico 7-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo 2, colector de escape original .....	63
<b>Gráfico 8-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 1- múltiple de escape con configuración 4-2-1. ....	65
<b>Gráfico 9-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 2- múltiple de escape con configuración 4-2-1. ....	66
<b>Gráfico 10-4:</b>	Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 3- múltiple de escape con configuración 4-2-1. ....	67
<b>Gráfico 11-4:</b>	Comparación de potencia máxima obtenida de la simulación y la validación del múltiple de escape original.....	68
<b>Gráfico 12-4:</b>	Comparación de potencia máxima y la validación del prototipo D.....	69
<b>Gráfico 13-4:</b>	Comparación de potencia máxima y la validación del prototipo B.....	70

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 1. Colector de escape original
- ANEXO B:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 2. Colector de escape original
- ANEXO C:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 3. Colector de escape original
- ANEXO D:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 1. Colector de escape 4-1.
- ANEXO E:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 2. Colector de escape 4-1.
- ANEXO F:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 3. Colector de escape 4-1.
- ANEXO G:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 1. Colector de escape 4-2-1.
- ANEXO H:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 2. Colector de escape 4-2-1.
- ANEXO I:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 3. Colector de escape 4-2-1.
- ANEXO J:** Planos Construcción



## RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo el diseño y optimización del múltiple de escape de un motor Chevrolet corsa 1300cc mediante simulación computacional y validación en un dinamómetro de rodillos, partiendo de la aplicación de métodos multicriterio de la aplicación de un software computacional para la selección de la mejor disposición de los diferentes modelos analizados en este software de simulación 1D, obteniendo dos diseños de múltiple de disposición 4-2-1 y 4-1 que cumplen con las especificaciones de desempeño y calidad para mejorar los valores de torque y potencia en el motor, para su posterior construcción siguiendo las normas de diseño, mismos que inicialmente fueron dibujados mediante el software de modelado SolidWorks, aplicando los procesos de manufactura de estructuras tubulares, al implementar cada uno de los múltiples en el vehículo se procedió a la realización de tres pruebas en un dinamómetro de rodillos para así obtener una media de cada uno y posteriormente poder realizar la comparación con los resultados del diseño original del múltiple de escape. Así se pudo determinar que, los resultados más favorables que se obtuvieron fue con el diseño de configuración 4-2-1, se determinó una potencia máxima de 79.77HP a un régimen de 5800 rpm que, al compararlo con los resultados obtenidos utilizando el múltiple de escape original representa una ganancia de potencia del 6.97%, determinando que el diseño es aceptable y cumple con los parámetros indicados para este vehículo, concluyendo que este proyecto es viable para una producción de autopartes, aplicable para vehículos livianos, en un ciclo de conducción durante carretera. Por lo cual, para futuras investigaciones es recomendable realizar un correcto cálculo para el diseño y la fabricación adecuada de cada uno de los múltiples de escape, guiados en procesos de diseño y simulación, optimizando el resultado final para cumplir los requisitos del fabricante.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <VEHÍCULO>, <MÚLTIPLE DE ESCAPE>, <DISEÑO MECÁNICO>, <SIMULACIÓN>, <OPTIMIZACIÓN>, <TORQUE>, <POTENCIA>.

0936-DRBA-UPT-2022



## SUMMARY

The objective of this technical project was the design and optimization of the exhaust manifold of a Chevrolet Corsa 1300cc engine through computer simulation and validation on a roller dynamometer. Starting from the application of multicriteria methods of the application of computational software for the selection of the best layout of the different models analyzed in the ID simulation software, obtaining two layout multiple designs, 4-2-1 and 4-1 that meet performance and quality specifications to improve values of torque and power in the motor, for its subsequent construction following the design rules, which were initially drawn using the SolidWorks modeling software. Applying the manufacturing processes of tubular structures, when implementing each the exhaust manifold in the vehicle, three tests were carried out on a roller dynamometer to obtain an average of each one and later be able to make the comparison with the results of the original exhaust manifold design. Thus, it was possible to determine that the most favorable results obtained were with the 4-2-1 configuration design, a maximum power of 79.77 HP was determined at a speed of 5800 rpm, which, when compared with the results obtained using the original exhaust manifold represents a power gain of 6.97%, determining that the design is acceptable and meets the parameters indicated for this vehicle, concluding that this project is viable for the production of auto parts, applicable to light vehicles, in a driving cycle on the highway. Therefore, for future research it is advisable to carry out a correct calculation for the design and proper manufacturing of each of the exhaust manifolds, guided by design and simulation processes, optimizing the final result to meet the manufacturer's requirements.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE> <MECHANICAL DESIGN>  
<EXHAUST MANIFOLD> <TORQUE> <POWER>



---

Lcda. Sandra Leticia Guijarro Paguay Mgs.  
C.I.: 0603366113

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En el Ecuador realizar modificaciones a los vehículos en serie se ha vuelto algo cotidiano, ya sea para preparar vehículos de competencia o como proyectos personales, siendo así que el automovilismo de tipo circuitos y los denominados cuartos de milla ha venido incrementándose numerosamente, no obstante se puede distinguir al vehículo Chevrolet corsa como uno de los más comunes dentro de las competencias denominada TC 1600 que abarca a los vehículos cuyos motores se encuentren entre 1251cc y 1650cc. (Quiroz, 2018)

Las modificaciones mecánicas en un vehículo son primordiales ya que con éstas se pretende ganar un mayor torque y potencia sin perder la confiabilidad del automotor. Según el Reglamento Técnico Campeonato Nacional De Circuito 2019, indica que el múltiple de escape es un componente libre en su preparación, lo cual no restringe su diseño y fabricación por lo tanto este tipo de modificaciones se pueden realizar sin ningún inconveniente para vehículos de competencia (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2019)

Por lo general en los vehículos de producción en serie una de las partes comunes a modificar es el múltiple de escape, una pieza que recoge en todo momento los gases de al menos dos cilindros desde la culata y llega hasta la primera junta que lo separa del resto del sistema de escape, según lo define la Federación Internacional del Automovilismo

No obstante, en Ecuador los múltiples de escape han sido modificados sin ningún parámetro de estudio previo, por lo tanto, no hay evidencia de los resultados obtenidos a partir de estas modificaciones es decir no se conoce sobre la mejora o pérdida de potencia. En cuanto a su construcción, los múltiples se fabrican a partir de un perfil de tubo de acero redondo, alcanzando una configuración 4-1 o 4-2-1 (Arroyo, 2017).

Los vehículos de producción en serie generalmente poseen múltiples de escape de fundición de hierro, a pesar de ello, los autos de alta gama o los múltiples fabricados, utilizan tubos de acero negro, galvanizado o inoxidable.

Por otra parte, existen dos métodos mediante los cuales se pueden construir los colectores de escape. El más común y de menor costo en el país es mediante el doblado de tubos, en los cuales se puede apreciar la reducción de la sección circular por aplastamiento en la zona de curvatura. El otro proceso se conoce como step header, consiste en la fabricación de los múltiples mediante

la soldadura de tramos de tubería, utilizando tubos pre-doblados que mantienen la sección circular uniforme durante todo su recorrido (Arroyo, 2017).

## **1.2. Planteamiento del problema**

Desde la creación del motor de 4 tiempos por Nikolaus August Otto en 1876, se han incorporado muchas innovaciones como la incorporación de los elementos para el control del mismo, por ejemplo con el pasar de los años las continuas mejoras en las propiedades de los aceites de lubricación de elementos fijos y móviles, así como también el mejoramiento de la calidad y tipos de combustibles los cuales hacen mucho más eficiente la combustión dentro de las cámaras, lo que da como resultado una mejora general del rendimiento del motor (Guamán et al., 2019).

Para una mejor eficiencia volumétrica en la entrada de la mezcla aire combustible hacia la cámara de combustión, esta debe tener un número de Reynolds 2000 a 3000 ya que un valor superior daría lugar a un flujo turbulento que resulta un tanto perjudicial. Por lo tanto, se debe mantener estable la dosificación de los mismos. Sin embargo, las condiciones de flujo inestable dentro del cilindro dificultan la sintonización del flujo incluso utilizando técnicas sofisticadas.

Para ello, un análisis que permitan analizar las velocidades de flujo o perfiles de distribución ya que, estas son una característica importante para utilizar esta técnica en el análisis de flujos para los elementos asociados al motor) así como el vaciado y llenado que se genera dentro de las cámaras. (Guamán et al., 2019). Dichas condiciones inestables que se generan dentro del cilindro hacen que el vehículo pierda sus propiedades de trabajo como es el torque y potencia, aparte de los flujos turbulentos podemos notar otros factores que afectan al rendimiento del vehículo Chevrolet Corsa 130cc, dentro de la ciudad de Riobamba podemos tener las pendientes, el ciclo de conducción, temperatura y presión atmosférica, que intervienen directa o indirectamente.

A pesar de realizarse varias investigaciones para mejorar las condiciones de flujo dentro de la cámara de combustión utilizando un diseño diferente de los ductos de escape. Se ha encontrado características defectuosas y poco confiables para cumplir con las necesidades que requiere el vehículo para transitar en distintas partes del Ecuador debido a su bajo rendimiento que genera los múltiples de escape convencionales.

## **1.3. Justificación**

En Ecuador la preparación de vehículos, mediante la modificación de uno o varios sistemas automotrices, se ha desarrollado durante mucho tiempo en base a la experiencia adquirida por los técnicos y talleres a través de un proceso de prueba y error, con el consecuente costo y tiempo elevado (Calle y Rivas, 2014).

Sin embargo, durante los últimos años, las exigencias crecientes en el mercado automotriz demandan la preparación y especialización de profesionales en áreas específicas, el uso de softwares de modelado y simulación, la inversión en herramientas, maquinaria y bancos de prueba de alta tecnología, a fin de ser competitivos, brindando soluciones en el menor tiempo y a bajo costo (Calle y Rivas, 2014).

Debemos tomar muy en cuenta que un gran porcentaje de las autopartes son importadas a precios muy elevados y en muchos casos no se considera los factores geográficos que determinan sus condiciones de funcionamiento y que en el país son diferentes. Así pues, la economía ecuatoriana se ha caracterizado por ser simplemente proveedora de materia prima e importadora de los productos con mayor valor agregado, según indica el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Arroyo, 2017).

Hace años atrás, los gobiernos ecuatorianos plantearon la transformación de la matriz productiva, tratando de crear un modelo democrático, incluyente y fomentado en el conocimiento y capacidades de los jóvenes ecuatorianos, pasando de un modelo primario exportador y explotador de materia prima a un modelo que fomente la producción con mayor valor agregado, con la ayuda de varios ejes de transformación, entre ellos, la sustitución a corto plazo de importaciones por bienes y servicios que los ecuatorianos estamos en capacidad de producir, por ejemplo: tecnología e industria metalmecánica (Arroyo, 2017).

Mediante la investigación universitaria y la aplicación, el desarrollo a nivel nacional de autopartes, adecuadas a nuestro medio geográfico y con los recursos disponibles en el Ecuador, se haría que reduzca la necesidad de importación de estas desde los mercados internacionales abaratando costos e incluyendo a nuestro país como uno de los desarrolladores de este tipo de tecnología.

No obstante, el mercado de autos en Ecuador goza de muy buena salud a juzgar por las estadísticas disponibles. Los datos que emergen de las investigaciones son sorprendentes y auguran un futuro promisorio. En el Ecuador existen hoy en día 1.965.538 vehículos livianos que se dividen de este modo: 968.900 automóviles, 419.350 SUV y 577.288 camionetas (Tecniseguros, 2018).

Según estadísticas entre los vehículos livianos antes mencionados la marca que lidera en Ecuador es Chevrolet con un 28,8 % en los últimos años 2018-2019 (ANET, 2019), es por ello que se ha optado por un vehículo de marca Chevrolet 1300cc para la realización del presente trabajo.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Analizar el rendimiento de torque y potencia de un motor Chevrolet 1300cc mediante el diseño y construcción de un múltiple de escape, utilizando la simulación computacional y su validación en un dinamómetro de rodillos.

### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- Evaluar las prestaciones actuales que posee el motor Chevrolet 1300cc, para establecerse la línea base del presente proyecto.
- Analizar las modificaciones propuestas en el software de simulación para seleccionarse el diseño que mejores prestaciones obtenga.
- Diseñar, validar y construir del múltiple de escape con modificación de mejores características establecerse sus mejores resultados.

## CAPITULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Historia de los motores de combustión interna

La primera patente de un motor de combustión interna se remonta al año de 1800 cuando Philippe Lebon propuso, la idea de un motor que funcionara mediante la explosión de una mezcla de aire y gas alumbrado dentro de un cilindro con la finalidad de mover un pistón. Desde ese entonces, los prototipos de motores de combustión interna han ido evolucionando. En el año de 1876, Nikolaus August Otto, perfecciona prototipos y fabrica el primer motor de cuatro tiempos siendo este un motor más eficiente, superando a los motores de vapor que estaban en auge en la época (Martinez, 2007).

No obstante, con el pasar de los años el motor de ciclo Otto ha mejorado con la implementación de elementos electrónicos, han incrementado su eficiencia y aunque ya se obtienen prestaciones aceptables en motores de producción en serie no cumplen la expectativa de muchos siendo así que la preparación de motores es una opción. La preparación de un motor de combustión interna puede llevarse tan al límite como sea deseado sin embargo hay que tener en cuenta que un motor preparado a sus máximas prestaciones las vías donde puede circular son mínimas, siendo así los autódromos su principal carretera, sin embargo, considerando solo las operaciones de afinado normales el motor aumenta su rendimiento sin por ello perder nada, en la preparación para aumentar la potencia en una zona, se pierde en otra. (Aquinuve, 2018)

Las principales modificaciones en los motores de combustión interna de cuatro tiempos, son los elementos móviles, en los cuales se deben trabajar, el grupo alternativo y los elementos de la distribución; siendo una de las ventajas la disminución de su peso para que permita un mayor régimen de giro al disminuir la inercia del sistema, y el segundo es que debe admitir la variación de la distribución, ampliando los periodos de trasvase. Adicionalmente, otras operaciones complementarias están encaminadas a mejorar la refrigeración, el engrase o la eliminación de puntos críticos. (Aquinuve, 2018)

Las modificaciones internas de un motor son más complejas de realizar por ejemplo el pistón en el motor de cuatro tiempos es más pequeño y por ende más complicado de realizar alguna variante, sin embargo, el trabajo más común que se realiza sobre el pistón es la reducción del redondeo de aristas, para evitar este tipo de trabajos se hace afinaciones menos complejas como el uso de aditivos y bujías de alto rendimiento. Además, de instalación de computadoras programables, rediseño de múltiples de admisión y escape, trucaje de motores, sobrealimentación, entre otros. Estas modificaciones que apuntan en dos direcciones, una es mejorar los procesos termodinámicos del ciclo de trabajo, incrementando el trabajo indicado, y otra, incrementar el rendimiento mecánico mediante la reducción de pérdidas entre el trabajo transferido por los gases al pistón y el trabajo mecánico disponible en el eje de salida o trabajo efectivo. La diferencia entre el trabajo indicado y el trabajo efectivo se conoce como trabajo de pérdidas mecánicas, las cuales pueden ser de fricción, de bombeo o de accionamiento de auxiliares. (Arroyo, 2017)

## **2.2. Motores de combustión interna**

Un motor de combustión interna es una máquina que transforma la energía química de un combustible en energía térmica para producir un trabajo mecánico. Los motores normalmente convierten la energía térmica en trabajo mecánico y por eso se les llama calor se denominan motores térmicos (Ibarra, 2010). Los motores de combustión interna pueden ser de dos tiempos y de cuatro tiempos. El motor de dos tiempos tiene una combustión interna que realiza la admisión, compresión, explosión y escape en tan solo dos recorridos del pistón y un giro del cigüeñal, lo que quiere decir que este motor produce una explosión por cada vuelta de cigüeñal, mientras que, en un motor de cuatro tiempos, se produce una explosión por cada dos vueltas de cigüeñal, haciendo su ciclo en cuatro recorridos del pistón y dos giros del cigüeñal; lo que asegura que una moto de dos tiempos de la misma cilindrada va a tener mucha más velocidad, pero también va a generar mayor consumo de combustible y mayor desgaste (Universidad Nacional de la Plata, 2021), ambos a su vez pueden ser a diésel como a gasolina, cada uno con una utilidad específica:

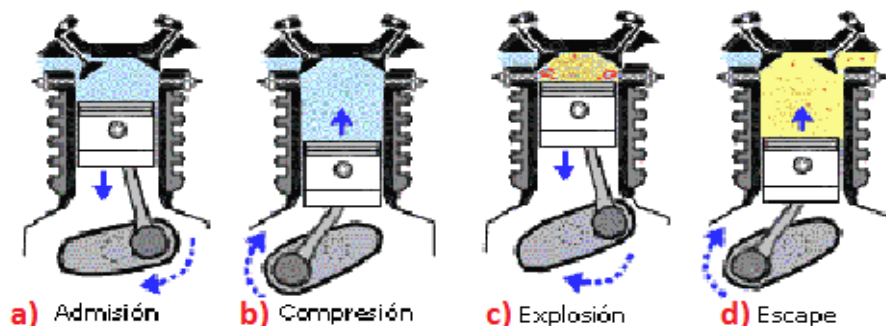
- *Dos tiempos a gasolina:* Fue de gran aplicación en motocicletas, motores ultraligeros y motores marinos fuera de borda hasta una determinada cilindrada, en la actualidad han perdido gran parte de utilidad debido a las normas anticontaminación. Es por ello que hoy en día solo se utilizan en motocicletas de cilindradas mínimas, scooter y en motores muy pequeños como motosierras. (Conesa, 2011)



- *Dos tiempos a diésel:* Tenía gran apertura en aplicaciones navales que requerían de gran potencia, en la actualidad su aplicación es escasa, aunque pueden llegar hasta 100000 CV, la tecnología y las normas anticontaminantes lo dejaron fuera de juego. (Conesa, 2011)
- *Cuatro tiempos a gasolina:* Debido a su eficiencia y su contaminación moderada estos motores aun predominan en: motocicletas de todas las cilindradas, automóviles, aviación deportiva y fuera borda. (Conesa, 2011)
- *Cuatro tiempos a diésel:* Tienen gran dominio en el transporte terrestre, automóviles, aplicaciones navales hasta una cierta potencia por sus grandes prestaciones y eficiencias. Aunque son una fuente de contaminación aún se encuentra en juego con las normativas de emisiones contaminantes. (Conesa, 2011)

### 2.2.1. Motor de cuatro tiempos

De las diferentes técnicas para recuperar la potencia del proceso de combustión, la más importante hasta ahora ha sido el ciclo de cuatro tiempos, concepción desarrollada por primera vez a finales del siglo XIX. El ciclo de cuatro tiempos se ilustra en la figura 1. Con la válvula de admisión abierta, el pistón desciende primero en la carrera de admisión. Una mezcla inflamable de vapor de gasolina y aire es introducida en el cilindro por el vacío parcial así creado. La mezcla se comprime a medida que el pistón asciende en la carrera de compresión con ambas válvulas cerradas. A medida que se acerca el final de la carrera, una chispa eléctrica enciende la carga. La carrera de potencia sigue, con ambas válvulas aún cerradas y la presión del gas, debido a la expansión del gas quemado, presionando la cabeza del pistón o la corona. Durante la carrera de escape, el pistón ascendente fuerza los productos gastados de la combustión a través de la válvula de escape abierta. Luego, el ciclo se repite. Por lo tanto, cada ciclo requiere cuatro carreras del pistón (admisión, compresión, potencia y escape) y dos revoluciones del cigüeñal (Ibarra, 2010).



**Figura 1-2:** Fases de un MCI de 4 tiempos: a) Admisión, b) Compresión, C) Explosión, d) Escape

**Fuente:** (La Energía, 2017)

*Admisión:* Esta fase da inicio cuando el pistón se encuentra en punto muerto superior (PMS), el pistón empieza a bajar en el instante que la válvula de admisión se abre y la válvula de escape se encuentra cerrada, dejando así que la mezcla aire/combustible llene la cámara de combustión, esta fase termina cuando el pistón se encuentra en punto muerto inferior (PMI) y las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas por completo. (Martinez, 2007)

*Compresión:* La fase de compresión se realiza después de que el pistón haya completado la admisión, a medida que el pistón se va dirigiendo hacia el punto muerto superior (PMS) la mezcla aire/combustible se va comprimiendo, durante toda esta fase las válvulas de admisión y escape se mantienen cerradas. (Martinez, 2007)

*Explosión:* La fase de explosión comienza cuando el pistón llega al punto muerto superior (PMS), la mezcla aire/combustible se encuentra comprimida y las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas, en ese preciso momento la bujía genera la chispa necesaria provocando la explosión de la mezcla y como efecto impulsando al pistón hacia el punto muerto inferior. (Martinez, 2007)

*Escape:* La fase de escape comienza cuando la fase de explosión finaliza, es decir cuando el pistón se llega al punto muerto inferior (PMI), la válvula de escape se abre y la de admisión permanece cerrada, entonces es cuando el pistón sube nuevamente expulsando los gases producidos por la mezcla aire/combustible quemada. (Martinez, 2007)

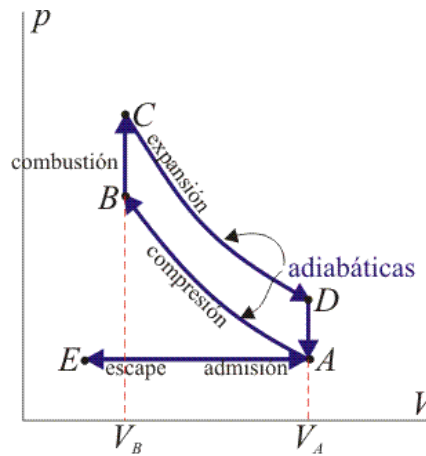
### **2.2.2. Ciclo OTTO teórico**

Los ciclos teóricos son aproximaciones a los ciclos reales. Sirven para estudiar el rendimiento de un motor. En un ciclo real existen tantas variables que afectan a la eficiencia del motor que resultaría imposible realizar cálculos exactos. Sin embargo, los ciclos teóricos nos permiten hacer aproximaciones muy fiables.

Es uno de los ciclos termodinámicos más comunes que se pueden encontrar en los motores de los automóviles y describe el funcionamiento de un motor de pistón de encendido por chispa típico. A diferencia del ciclo de Carnot, el ciclo de Otto no ejecuta procesos isotérmicos, porque estos deben realizarse muy lentamente. En un ciclo de Otto ideal, el sistema que ejecuta el ciclo experimenta una serie de cuatro procesos internamente reversibles: dos procesos isentrópicos (adiabáticos reversibles) alternados con dos procesos isocóricos. (Martinez, 2007)

En esta sección se muestra un ciclo de Otto ideal en el que hay muchas suposiciones que difiere del ciclo de Otto real. Las principales diferencias entre el motor Otto real e ideal aparecen en la figura. En realidad, el ciclo ideal no ocurre y hay muchas pérdidas asociadas con cada proceso.

Para un ciclo real, la forma del diagrama pV es similar al ideal, pero el área (trabajo) encerrada por el diagrama pV es siempre menor que el valor ideal. (Martinez, 2007)



**Figura 2-2:** Ciclo Otto teórico

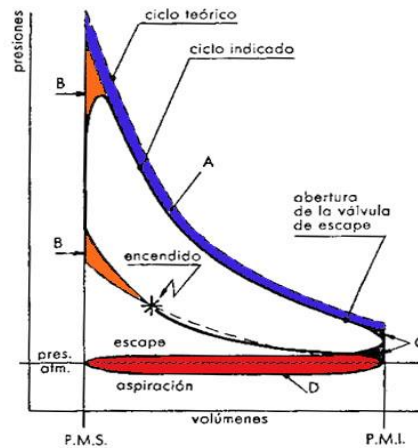
**Fuente:** (Morales y Hernández, 2008)

Como se puede observar en la figura 2-2, el proceso de aspiración (proceso isocórico) se da desde el punto *E* hasta el punto *A*, donde la válvula de admisión se abre y se aspira una cantidad de aire y combustible a una presión teóricamente igual a la atmosférica, provocando el descenso del pistón. El proceso de compresión (proceso adiabático) se lo realiza del punto *A* al punto *B*, durante este proceso no existe un intercambio de calor entre el carburante y las paredes del cilindro, las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas y el pistón comienza a subir, comprimiendo la mezcla. El proceso de combustión (proceso isocórico) se lo realiza desde el punto *B* al punto *C*, durante el transcurso de este proceso las válvulas de admisión y escape permanecen cerradas, la combustión de toda la mezcla es instantánea, por lo tanto, el volumen no cambiará y la presión aumentará rápidamente. El proceso de expansión (proceso adiabático) se realiza desde punto *C* al punto *D*, Durante este proceso el gas inflamado empuja al pistón, además que no existe intercambio de calor, al aumentar el volumen, la presión aumenta. El proceso de escape (proceso isocórico) sucede desde el punto *A* al punto *D*, durante este proceso el pistón se encuentra en el punto muerto inferior, la válvula de admisión permanece cerrada y se abre la de escape, disminuyendo rápidamente la presión, evacuando así los gases residuales de la combustión, listo para empezar otro ciclo. (Morales y Hernández, 2008)

### 2.2.3. Ciclo Otto real

El ciclo real refleja las condiciones reales de funcionamiento de un motor y se entiende como ciclo termodinámico real a aquel que muestra las condiciones verdaderas de funcionamiento

como: pérdidas de calor, tiempo de apertura y cierre de válvulas, combustión no instantánea, etc. Provocando una disminución en la eficiencia y rendimiento del motor (Ruiz, 2012).



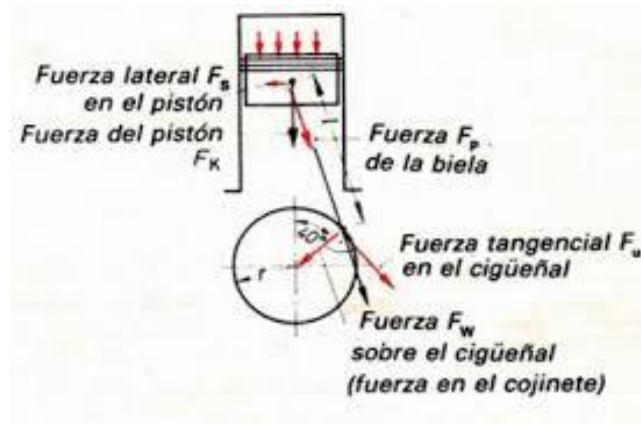
**Figura 3-2:** Ciclo OTTO real vs teórico

*Fuente:* (Ruiz, 2012)

Aspiración (0-1), la presión del gas durante la aspiración es menor que la presión atmosférica, por lo tanto, el cierre de la válvula de admisión se produce después que el pistón llega al extremo inferior de su carrera, es decir, se prolonga el período de admisión y entra en el cilindro la máxima cantidad de mezcla de aire y combustible. Compresión (1-2), el gas cede calor al cilindro, por consiguiente, el gas se enfría y adquiere menos presión. Combustión (1-3), la combustión no es instantánea y el volumen de la mezcla va variando mientras se propaga la inflamación. En este caso, el perfeccionamiento que se puede aportar para la obtención de un máximo trabajo, será en la elección en que ha de producirse el encendido. La chispa debe saltar antes de que el pistón haya terminado la carrera de compresión, de esta manera aumenta considerablemente la presión alcanzada después de la combustión y de esta forma el trabajo ganado será significativo. En la Expansión (3-4), el incremento de la temperatura en el interior del cilindro durante la combustión produce en la expansión, que los gases cedan calor al cilindro y se enfrían, dando como resultado una presión menor. Finalmente, en el escape (4-1), en realidad el escape no se hace instantáneamente, sino que en este período los gases tienen aún una presión superior a la atmosférica.

#### 2.2.4. Mecanismo Biela- Manivela

Para que el ciclo de un motor de combustión interna se pueda realizar es necesario la intervención de un mecanismo capaz de producir las cuatro carreras de pistón, este mecanismo utilizado se lo conoce como biela-manivela, capaz de transforma la velocidad rectilínea en velocidad angular (Botta et al., 2011).



**Figura 4-2:** Fuerzas presentes en un mecanismo biela-manivela

Fuente: (Botta et al., 2011)

En la figura 4-2 se puede observar el mecanismo biela manivela de un motor de combustión interna en el proceso de expansión, en este punto la explosión del carburante empuja al pistón con una fuerza  $F_K$  hacia abajo, esa fuerza del pistón es transmitida a la biela  $F_s$  la misma que ayuda a transformar el movimiento rectilíneo del pistón en rotativo. La biela transporta la fuerza  $F_s$  al cigüeñal  $F_w$ , haciéndola girar sobre su propio eje rigiéndose a la fuerza que suministro la biela, cada vuelta de este elemento representa un trabajo. (Martinez, 2007)

#### 2.2.4.1. Eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica depende de la relación

$$\frac{r}{l} \quad (1)$$

Donde:

$r$  es el radio de la manivela

$l$  la longitud de la biela,

Una relación baja produce que el pistón realice su carrera de escape con menor velocidad y luego con mayor velocidad la carrera de admisión, en cambio, un valor de relación muy grande hace que el recorrido del pistón cercano a punto muerto superior (PMS) sea con mayor velocidad, en efecto dejando a la primera parte de la carrera de aspiración muy susceptible al diseño para poder lograr el mismo objetivo que en un diseño de una relación menor (Botta et al., 2011).

En cuanto al tiempo de escape, si dicha relación es muy grande se permite abrir unos grados antes la válvula de escape en comparación a la relación muy baja, esto debido a que, con relaciones grandes, el pistón se encuentra más arriba en el cilindro por lo cual la presión del gas dentro del cilindro es mayor (Botta et al., 2011).

### **2.3. Sistema de escape**

El sistema de escape de un automóvil es un conjunto que recoge los gases que se han generado en el proceso de combustión., elimina las sustancias nocivas, reduce el nivel de ruido y descarga dichos gases en un punto adecuado del vehículo lejos de sus ocupantes. El sistema de escape puede constar de uno o dos canales según el motor. La resistencia al flujo debe seleccionarse de modo que la contrapresión del escape afecte al rendimiento del motor lo menos posible. Para garantizar que el sistema de escape funcione perfectamente, debe considerarse como un todo y desarrollarse en consecuencia. Esto significa que sus componentes deben ser coordinados por los ingenieros de diseño de acuerdo con el vehículo y el motor específicos (Calle y Rivas, 2014).

Un sistema convencional de escape consta de los siguientes elementos.

- Colector de escape
- Conductos de evacuación
- Convertidor catalítico
- Silenciadores
- Sujetadores de la tubería (Mundo motor, 2017)

#### **2.3.1. Catalizador**

Los convertidores catalíticos se han instalado en los escapes de los automóviles como estándar durante casi 30 años para reducir las emisiones nocivas de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno a la atmósfera. Los metales actúan como catalizadores (como sugiere el nombre) y convierten los gases nocivos en vapor de agua y emisiones menos nocivas. Antes de la llegada de los convertidores catalíticos, los gases de escape salían por el tubo de escape sin ningún tipo de filtrado, el mismo debe estar cerca del motor para que los gases se mantengan a altas temperaturas para que el catalizador eleve su temperatura, circunstancia indispensable para que este dispositivo tenga un óptimo rendimiento, que se alcanza entre los 400 y 700 grados centígrados (Calle y Rivas, 2014).



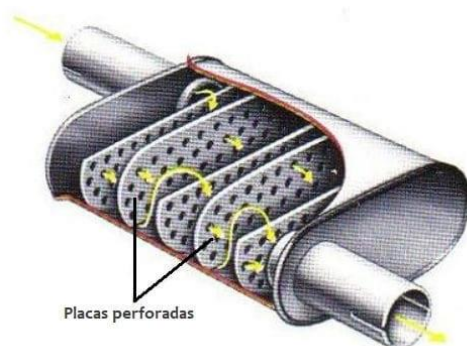
**Figura 5-2:** Catalizador Automotriz

**Fuente:** (Autofacil, 2014)

### 2.3.2. *Silenciador*

El propósito de un silenciador de escape es reducir la emisión de ruido del motor. Un motor sin silenciador creará una cantidad insoportable de ruido de escape en nuestro entorno. El ruido se define como un sonido no deseado. El sonido es una onda de presión formada por pulsos de aire de alta y baja presión que se alternan. En un motor de combustión, las ondas de presión se generan cuando la válvula de escape se abre repetidamente y deja que el gas a alta presión ingrese al sistema de escape. Estos pulsos de presión son el sonido que escuchamos. A medida que aumentan las RPM del motor, también lo hacen las fluctuaciones de presión y, por lo tanto, el sonido emitido es de una frecuencia más alta.

Todo el ruido emitido por un motor no proviene específicamente del sistema de escape. Otros factores que contribuyen a la emisión de ruido del motor incluyen el ruido de admisión, el ruido mecánico y el ruido inducido por vibraciones del cuerpo y la transmisión del motor. El silenciador industrial debe poder permitir el paso de los gases de escape y restringir la transmisión del sonido (Calle y Rivas, 2014).



**Figura 6-2:** Silenciador de gases de escape

**Fuente:** (Actualidad Motor, 2018)

- **Silenciadores de absorción:** Es el más común y más utilizado, en este tipo de silenciador el tubo que en el interior está perforado de modo que las ondas sonoras lleguen al aislamiento, generalmente se recubre de lana de vidrio o algún material igual que tenga características aislantes tanto acústicas como térmicas (Calle y Rivas, 2014).
- **Silenciadores de expansión:** Son aquellos que poseen una reducción de diámetro del ducto durante un tramo para después retornar a su sección original, gracias a este diseño es muy efectivo en la mayoría de frecuencias, pero su desventaja es que no puede controlar la pérdida de carga inherente a las variaciones bruscas de sección en el tubo (Calle y Rivas, 2014).
- **Silenciadores de resonador lateral:** Este tipo de silenciador posee dos tubos, uno principal se le cubre con otro tubo concéntrico de mayor diámetro y que se encuentran comunicados por perforaciones, en este silenciador las ondas acústicas pasan del primer ducto al segundo provocando la disminución de su intensidad, además que es muy efectivo en la mayoría de frecuencias (Calle y Rivas, 2014).
- **Silenciadores de interferencia:** su principio de funcionamiento, es la oposición a la dirección del flujo por medio de paredes que forman un laberinto para las ondas sonoras obligando a que estas reboten, en efecto esta configuración presenta dificultad para la salida de los gases de escape aumentando la turbulencia y la fricción contra las paredes, y por lo tanto disminuyendo la pérdida de carga (Calle y Rivas, 2014).

#### 2.4. Colector de escape

El colector de escape tiene la tarea de recolectar los gases de escape generados por un motor de combustión interna y transportarlos hacia el convertidor catalítico o turbocompresor. El nombre se refiere a las diferentes entradas y salidas presentes en el colector, que guían los gases de escape emitidos desde la culata hacia la parte inferior de la carrocería. Como primer componente del sistema de escape, el colector de escape recoge los gases de escape liberados de los cilindros del motor y los dirige al convertidor catalítico. En los motores con turbocompresor, el turbocompresor está situado aguas abajo del colector de escape (Mundo motor, 2017).

El diseño del colector de escape tiene una influencia significativa en el rendimiento y las características de par de un motor, al igual que el diseño de las tuberías conectadas. El hecho de que los conductos de escape individuales se fusionen en uno garantiza que las pulsaciones, es decir, los aumentos de presión fluctuantes emitidos por un determinado cilindro, no impidan que los gases de escape se liberen de otro cilindro. Además, las ondas de presión negativa están destinadas a promover el flujo de gases de escape fuera de los cilindros (Calle y Rivas, 2014).



Los colectores de escape a menudo están hechos de hierro fundido aleado, que puede soportar las altas temperaturas de escape. Alternativamente, también se utilizan colectores de escape de acero inoxidable (Arroyo, 2017).



**Figura 7-2:** Colector de escape

**Fuente:** (Actualidad Motor, 2018)

Los colectores de escape están sujetos a un alto estrés térmico porque son el primer componente que aleja los gases de escape del motor. Las expansiones significativas causadas por la temperatura se combinan con la tensión cíclica asociada resultante del calentamiento y enfriamiento repetidos para someter el material a la fatiga. A su vez, esto eventualmente puede hacer que el componente falle (Calle y Rivas, 2014).

Las vibraciones causan estrés adicional. Las grietas en los componentes permiten que los gases de escape calientes ingresen al compartimiento del motor y provoquen un ruido adicional no deseado. Los materiales y diseños empleados hoy en día generalmente permiten que el colector dure toda la vida útil del automóvil (Calle y Rivas, 2014).

Para garantizar bajas emisiones de contaminantes, es importante que el convertidor catalítico alcance rápidamente su temperatura de funcionamiento. La capacidad térmica del colector de escape juega un papel importante en esto (Calle y Rivas, 2014).

### ***2.4.1. Configuración de los múltiples de escape***

En lo que respecta al rendimiento del motor, lo que sale es tan importante como lo que entra. Los sistemas de escape no se agregan simplemente para controlar a dónde van las emisiones. En esencia, un buen sistema de escape puede ayudar a un motor a alcanzar el máximo rendimiento (Arroyo, 2017). Se conocen tres diferentes configuraciones de múltiples de escape aplicables a los motores de combustión interna, los mismos son:

- Configuración 4-1
- Configuración 4-2-1
- Escape doble

Los dos tipos más usados y con mejor rendimiento son la configuración 4-1 y la configuración 4-2-1.

#### ***2.4.1.1. Configuración 4-2-1***

En primer lugar, ¿por qué este sistema en particular va por "4-2-1"? Los números se refieren al diseño del tubo de escape: cuatro tubos salen de la culata (o cabezal adicional), que se convierte en dos tubos, y el sistema finalmente termina con un tubo que conduce al convertidor catalítico y al silenciador. La idea detrás de cualquier sistema de escape es eliminar la mayor cantidad posible de gases de escape de los cilindros rápidamente. El término automotriz para esto es "limpieza". La eliminación eficaz de los gases de escape aumenta la eficiencia general de un motor. Cada vez que ocurre una carrera de potencia en el motor y se abre una válvula de escape, se crea una presión positiva en el colector de escape. Y entre estas presiones positivas, también ocurren presiones negativas, especialmente a velocidades más bajas. Como los cilindros crean estas presiones en diferentes momentos, pueden interferir entre sí y ralentizar la liberación de gases de escape (Calle y Rivas, 2014).

En un motor de cuatro cilindros, las tuberías 1 y 4 están conectadas a los cilindros 1 y 4. Las tuberías 2 y 3 están conectadas a los cilindros 2 y 3. Las longitudes de las tuberías están diseñadas para llevar los gases de escape a la unión de donde giran las cuatro tuberías. en dos en un momento predeterminado. Hay que tener en cuenta que, los cilindros 1 y 4 agotan sus gases en momentos diferentes a los del 2 y 3. Estos pulsos de gas se sincronizan, a lo largo de la tubería, para llegar a la unión en un punto donde su paso se ayuda mutuamente en lugar de interferir entre sí. Una vez atravesado, salen por el tubo único, pasan por el convertidor catalítico y luego abandonan el automóvil por el silenciador y salen por el tubo de escape. Los sistemas 4-2-1, aunque son comunes, se utilizan principalmente en aplicaciones generales de conducción. Otros autos, como

los autos de carrera, usan un sistema 4-1 que aumenta la eficiencia a mayores revoluciones. Cualquiera que sea el sistema que se utilice, la idea es aumentar la eficiencia dentro de un rango de revoluciones del motor determinado (Calle y Rivas, 2014).



**Figura 8-2:** Múltiple de escape configuración 4-2-1

**Fuente:** (Borja, 2018)

#### *2.4.1.2. Configuración 4-1*

Los múltiples de escape con configuración 4-1 están diseñados para que los 4 tubos de escape se fusionen en uno. En la mayoría de las pruebas de dinamómetro, esto produce la máxima potencia, ya que generalmente ofrece las mejores características de flujo para el motor a altas velocidades del motor. La configuración 4-1 generalmente mueve la banda de potencia hacia arriba, lo que hace que la parte inferior de la banda de RPM se sienta un poco débil. Sin embargo, las pruebas de dinamómetro han demostrado que a bajas RPM hay muy poca diferencia de potencia. La configuración 4-1 generalmente tienen menos contrapresión que la configuración 4-2-1 y los clientes han dicho que sus autos parecen más ruidosos a altas RPM con la configuración 4-1 (Calle y Rivas, 2014).

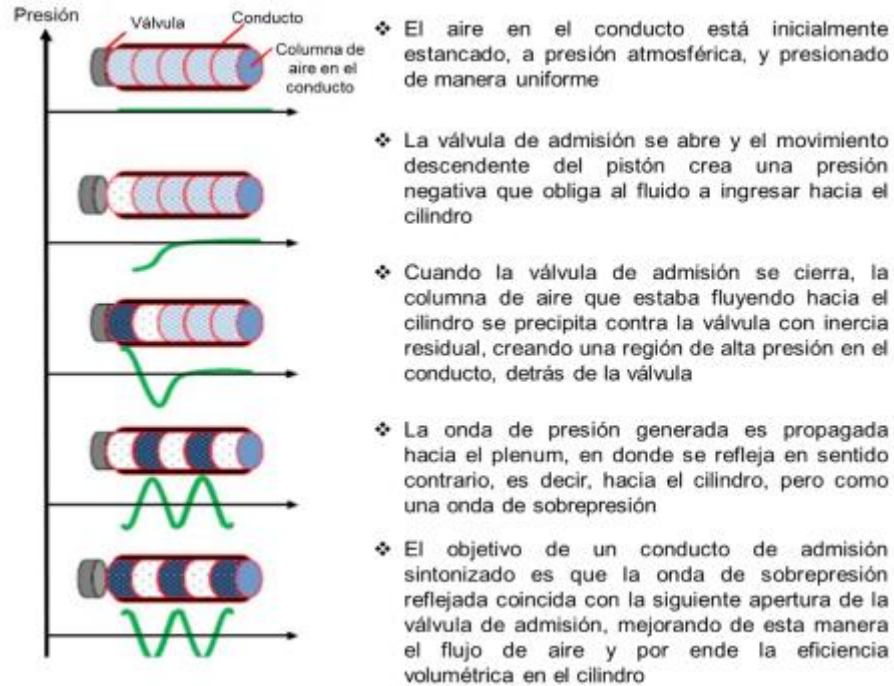


**Figura 9-2:** Colector de escape configuración 4-1

**Fuente:** (Borja, 2018)

#### **2.4.2. Ondas de presión durante el proceso de escape de los gases**

El flujo de gas que atraviesa un motor de combustión interna se comporta de manera inestable. Considerándose como flujo inestable de gas cuando la presión, la temperatura y la velocidad de partícula cambian en el tiempo y esto es lo que ocurre en los automotores (Mantilla et al., 2009). Las ondas de presión se empiezan a generar en el momento en el que la válvula de escape empieza a abrirse y esta se sitúa en contacto con dos recintos generando así diferencial de presión sumamente alto, debido al proceso de expansión la cámara de combustión se llena de gas, mientras que, el colector de escape se encuentra a una presión cercana a la atmosférica, con estos fenómenos se genera las ondas de presión que pasan directamente al colector del escape a una velocidad superior a la de los gases poniéndolos así en movimiento (Arroyo, 2017).



**Figura 10-2:** Fases de generación de la onda de presión

**Fuente:** (Ortega , 2019).

La magnitud de dichas ondas depende directamente de la velocidad de apertura de la válvula que comunica a los recintos, por lo tanto, a elevadas revoluciones y un perfil de leva que levante la válvula rápidamente la onda de presión que se genera será mayor por lo tanto se logrará que los gases de escape aprovechen esta velocidad (Mantilla et al., 2009).

La onda producida en la carrera de escape al ser de sobrepresión puede ser reflejada en la válvula de escape causando efectos positivos sobre el motor, se puede dar un efecto de succión ayudando a evacuar los gases del cilindro, por otro lado, si la onda de refacción llega durante la carrera de escape reducirá la presión en la válvula y por efecto el trabajo de bombeo mejorando así en un 5% el rendimiento volumétrico de un motor (Mantilla et al., 2009).

Los colectores de escape que poseen una configuración 4-2-1 generan un efecto de flujo direccional, que ayuda al incremento de energía cinética del flujo evitando así la interferencia entre los pulsos de presión por efecto al orden de encendido en los cilindros 1-3-4-2, uniendo los conductos primarios del cilindro 1-2 y el 3-4 para luego conectarlos en una junta tipo Y (Arroyo, 2017).

### 2.4.3. Propagación de ondas de escape

Las ondas de escape van a través de los ductos de escape hasta llegar al colector que los modifica, este colector puede ser:

*Final Abierto:* se caracteriza por que la onda de presión se ve reflejada generando una onda de rarefacción que regresa hacia el motor, tal es el caso de los silenciadores (Arroyo, 2017).

*Final cerrado:* se caracteriza por que la onda de presión rebota contra una pared, conocidos como resonadores (Arroyo, 2017).

*Final parcialmente abierto:* se caracteriza por que posee un ensanchamiento en la cual parte de la onda sigue su camino y la otra parte regresa como onda de rarefacción, por lo tanto, si el ensanchamiento es muy brusco la onda que regresa también lo es, mientras que si el ensanchamiento es progresivo la onda de rarefacción se va formando de manera progresiva lo que permite aprovecharla durante más tiempo (Arroyo, 2017).

*Final parcialmente cerrado:* Se caracteriza por que presenta un estrechamiento el mismo que genera una onda de rarefacción de presión, de igual manera la onda dependerá del ángulo de estrechamiento.

*Una bifurcación:* se caracteriza por tener una configuración 4-2-1-2, cuando la onda de presión llega a una bifurcación esta se divide en dos, sin embargo, si el diámetro del ducto al que se une es mayor se creara una onda de rarefacción que regresara por el ducto inicial. Al referirse a un colector de configuración 4-2-1, se habla de una bifurcación, por lo tanto, parte de la onda avanzará y la otra irá hacia el cilindro adyacente convirtiéndose en una onda de presión (Arroyo, 2017).

#### **2.4.4. Minimizar la pérdida de carga**

Los gases producto de la combustión deben ser evacuados a la mayor velocidad, cuando los regímenes de un motor de combustión interna son altos, para ello se debe contar con un diseño de diámetro adecuado y este no debe ser menos al de la salida del block, ya que si se generan pérdidas por rozamiento estas son proporcionales al cuadrado del diámetro, por lo tanto, serán mayores (GASSATTACK, 2015).

Un diseño adecuado de un múltiple de escape, con curvas y cambios de sección para así eliminar el rozamiento de los gases con las paredes, dichos factor también contribuye para que la pérdida de carga sea menor (GASSATTACK, 2015)

#### **2.4.5. Aprovechar las ondas de presión**

Los efectos de las ondas de sobrepresión y rarefacción que se generan en los ductos de admisión y conductos del múltiple son determinantes para favorecer el llenado de los cilindros de un motor de combustión interna de cuatro tiempos, el mismo puede optimizar su rendimiento en diferentes rangos de potencia, en cuanto a la modificación del múltiple de escape es mejor hacerlo a altas revoluciones ya que es donde las ondas de presión son mayores y es donde más se puede afectar al rendimiento si hay una mala coincidencia de dichas ondas (Ortega , 2019).

En el momento en el que la onda de depresión llega, la válvula de escape está abierta se crea una depresión muy grande que ayuda a vaciar los gases residuales de la cámara de combustión, haciendo que el motor que va a alta velocidad pueda inducir más cantidad de mezcla (si parte del volumen de la cámara, está ocupado por gases, será menos cantidad de mezcla la que entre menor potencia). En consecuencia, al mejorar la salida de los gases de escape, la onda de depresión hace que el rendimiento volumétrico aumente, y que la curva de potencia llegue a su pico más alto presión (Arroyo, 2017).

Si cuando llegue esa onda de depresión la válvula de escape está cerrada, la onda se comportará como ante un extremo cerrado, y devolverá una onda de presión que de nuevo viajará hacia la salida del escape. En un panorama muy desalentador, puede que llegue una onda de presión en el momento en que nuestra válvula está abierta. Los gases dejarán de salir, o por lo menos lo harán con mucha mayor dificultad (Arroyo, 2017).

Bueno, pues este es el caso de un monocilindro. En un motor con más de un cilindro, las ondas de uno se bifurcan e interactúan en los demás cilindros. Según la distancia a la que vayamos uniendo los colectores de los distintos cilindros, y de qué forma lo hacemos, podremos optimizar de una u otra forma el funcionamiento a diferentes regímenes (Arroyo, 2017).

#### ***2.4.6. Efectos de la configuración del múltiple de escape.***

Con la configuración de escape 4-1, se ha observado en diversos estudios que con regímenes de giros altos se genera un aumento de potencia, y ocurre lo contrario a bajas revoluciones, por lo tanto, se aconseja este tipo de configuración para vehículos de pista; mientras que, por otro lado, la configuración 4-2-1, trabaja mejor en bajos regímenes de giro mientras en los altos es menos favorable (Almeida, 2012).

De igual forma, mediante investigaciones se ha observado que un colector 4-1 ayuda a disminuir la turbulencia, reducir pérdidas de flujo y teóricamente tiene el mayor caudal por lo que trabaja mejor en altas revoluciones; el colector 4-2-1 360°, une en los primarios los cilindros desfasados 360° según el orden de encendido, creando dos conexiones principales, donde se genera ondas de expansión en las uniones de primarios y secundarios, y una tercera onda es reflejada desde la

válvula de escape cerrada en el cilindro desfasado 360° hacia el conducto abierto de escape, por tanto, el desplazamiento de estas tres ondas crea un rango de revoluciones más amplio para el barrido; el colector 4-2-1 180°, agrupa los cilindros desfasados 180° según el orden de encendido, es más fácil de unir entre cilindros pero provoca problemas con las ondas generadas (Almeida, 2012).

#### 2.4.7. Cálculo del sistema de escape

Un correcto diseño del colector de escape debe ser calculado y correctamente dimensionado, teniendo siempre en cuenta que el objetivo principal de este cambio es aprovechar al máximo posible los efectos de las ondas de presión generadas por la apertura de las válvulas de escape. Para ello utilizaremos correlaciones que nos ayudaran a establecer las medidas como longitud y diámetros óptimos con los parámetros que se muestran a continuación (Calle y Rivas, 2014).

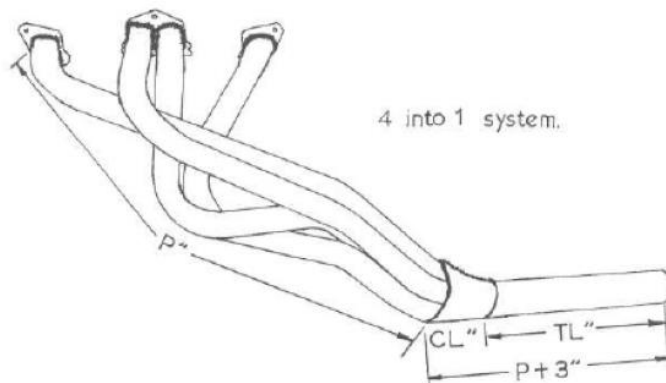
##### 2.4.7.1. Correlaciones de A. Graham Bell Colector 4-1

De acuerdo con Graham Bell, la longitud para un colector de distribución 4-1 medido en pulgadas, se puede calcular con la ecuación 1 (Díaz , 2017).

$$P'' = \frac{850 * ED}{n} - 3 \quad (1)$$

Dónde:

- ED = duración de la carrera de escape medida en grados sumándole el adelanto de apertura de admisión respecto del PMI.
- n = Régimen de giro medido en  $[min^{-1}]$  (Díaz , 2017).



**Figura 11-2:** Sistema de escape configuración 4-1

**Fuente:** (Díaz , 2017).



Se emplea la ecuacion 2 para calcular el diámetro interno.

$$ID = \sqrt{\frac{cc}{(P''+3)*25}} * 2.1 \quad (2)$$

Donde:

- cc = cilindrada unitaria medida en  $cm^3$

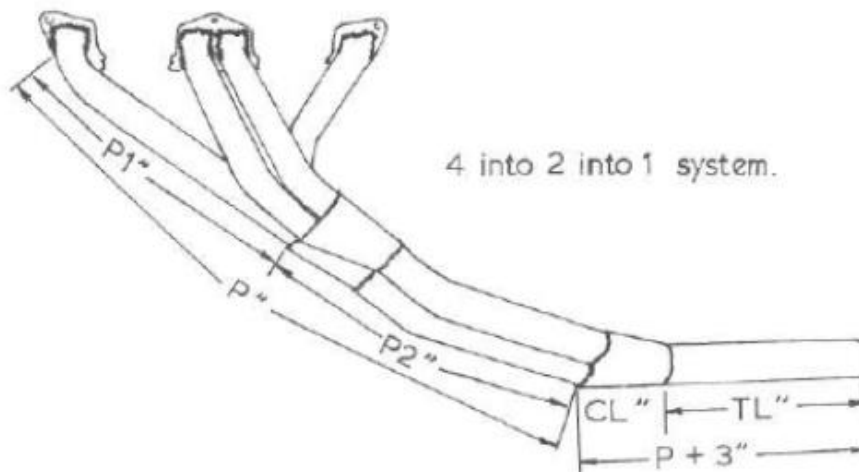
Para calcular la longitud final del tramo Graham Bell dice que será la misma que los tubos del colector primario más 3 pulgadas (Díaz , 2017).

Finalmente para calcular el diametro interno del tubo del tramo final se usa la ecuacion 3 (Díaz , 2017).

$$ID3 = \sqrt{\frac{cc * 2}{(P'' + 3) * 25}} * 2 \quad (3)$$

#### 2.4.7.2. Correlaciones de A. Graham Bell Colector 4-2-1

En cuanto al diseño de un colector de un sistema de escape con configuración 4-2-1, se deben añadir dos variables más, la longitud y el diámetro del colector secundario. Bell manifiesta que la longitud del colector primario siempre será 15 in o 381 mm, por lo tanto, la longitud de los tubos del colector secundario se calcula restando la longitud  $P''$  menos los 381 mm (Díaz , 2017).



**Figura 12-2:** Parámetros de diseño colector de escape 4-2-1

Fuente: (Díaz , 2017).

El diámetro de los tubos del colector secundario se calcula mediante la ecuación 4:

$$IDS = \sqrt{ID^2 * 2} * 0.93 \quad (4)$$

Además, que para realizar la unión de tubos en ambos colectores es recomendable una contracción angular máxima de entre 7-8° (Díaz , 2017).

#### 2.4.7.3. Correlaciones de Stefano Gillieri

De acuerdo con el autor Stefano Gillieri, la longitud  $L_c$ , que el colector de escape debe tener se la calcula con la ecuación 5 (Gillieri, 2007).

$$L_c = \frac{13000 * Ge}{n * 6} \quad (5)$$

Dónde:

- $Ge$  = representa los grados de apertura de la válvula de escape.
- $n$  = régimen de giro (Gillieri, 2007).

La longitud  $L_c$  se refiere a la distancia desde la válvula, por lo tanto, se tendrá que restar la longitud de los conductos y el puerto de escape para obtener la longitud que debería tener el sistema de escape hasta el tramo final, ya sea un sistema de configuración 4-1 o un sistema 4-2-1.

En este último caso, al igual que en las correlaciones de Bell, se elegiría un mínimo para el colector primario y se le restaría ese valor a la longitud  $L_c$  para obtener el valor de longitud del colector secundario (Díaz , 2017).

En cuanto al diámetro, queda definido con la ecuación 6.

$$\phi = 2 * \sqrt{\frac{V_D * 2}{L_c * \pi}} \quad (6)$$

Gillieri destaca que el valor del diámetro obtenido hace referencia a tubos rectos. En el caso de un sistema de escape, la mayoría de los tubos van curvados. En consecuencia, se añade un 10% más al valor obtenido (Díaz , 2017).

Para el tramo final, Gillieri define el diámetro del tubo como:

$$\phi_f = 2 * \sqrt{\frac{V_T}{L_c * \pi}} \quad (7)$$

#### 2.4.7.4. Torque de un motor de combustión interna

El torque de un motor o también conocido como par motor mide el momento de fuerza que se aplica a un eje que gira a una velocidad determinada, por lo tanto, se lo definiría como la fuerza ejercida sobre el cigüeñal del motor para que este pueda transmitirlo al resto de los elementos mecánicos. Sin embargo, la fuerza que realiza el pistón sobre el cigüeñal es variable, debido a que la potencia máxima se genera en el momento de la explosión del combustible y el torque es una magnitud dependiente de la potencia presente en la cámara de combustión y el régimen al que se encuentre el motor, y se lo puede calcular mediante la ecuación 8 (Calle y Rivas, 2014).

$$P = \frac{T}{w} \quad (8)$$

Dónde

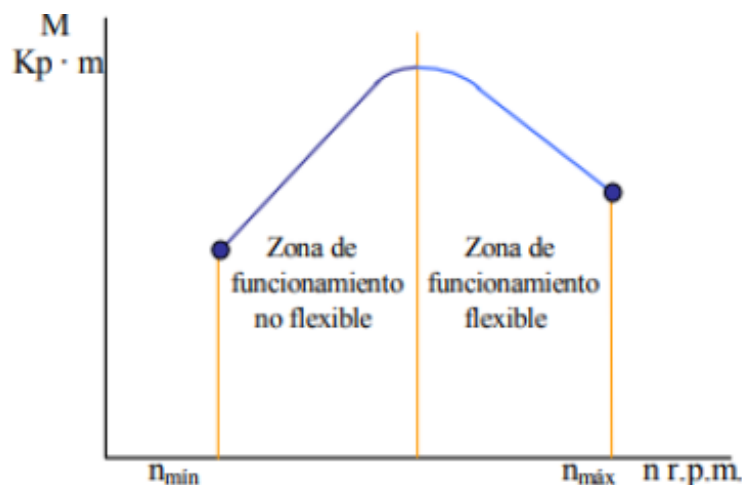
$P$  = potencia,

$T$  = torque

$w$  = velocidad del motor (rpm)

Sin embargo, existen factores mecánicos como el rozamiento que alteran los valores teóricos generando pérdidas en forma de calor.

Como se puede observar en la siguiente figura el torque de un motor de combustión interna, asciende durante el proceso de expansión, y va en descenso el resto del ciclo en función de las revoluciones por minuto del eje, cabe destacar que el valor máximo del torque varia acorde al motor en análisis. (Marín y Toro, 2018)



**Figura 13-2:** Curva del torque de un MCI

**Fuente:** (Marín y Toro, 2018)

#### 2.4.7.5. Potencia de un MCI

La potencia de un motor de combustión interna, indica la cantidad de trabajo (torque) a desarrollarse en una unidad de tiempo, por lo tanto, se lo definiría como el tiempo empleado para realizar un trabajo, la potencia se podría calcular a partir de la ecuación 9 (Marín y Toro, 2018).

$$P = M \cdot 2\pi \cdot \frac{w}{60000} \quad (9)$$

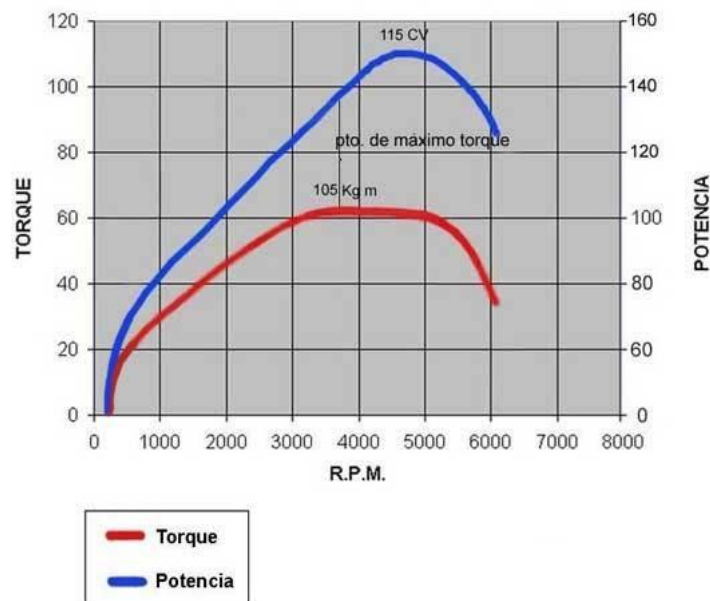
Donde

$M$  = par motor expresado en  $[N \cdot m]$

$w$  = velocidad en RPM

$\pi$  = constante

Analizando la ecuación podemos determinar que a medida que aumentan las rpm, aumenta la potencia de una forma parcialmente lineal, este incremento ocurre solo hasta llegar a una velocidad nominal del cigüeñal, por lo que, a partir de dicha velocidad, la potencia ira decreciendo hasta llegar a un valor que, para un alto régimen de giro, es bajo (Marín y Toro, 2018).



**Figura 14-2:** Curva de par y potencia de un MCI

**Fuente:** (El manual de Eduardo, 2017)

Como se puede observar en la figura 14-2, el régimen del motor en el que marca el torque máximo no es el mismo con el régimen en el que marca la potencia es máxima, según estudios en la

mayoría de los motores de combustión interna el torque máximo se encuentra alrededor del 70% del régimen al que el motor de combustión interna genera la potencia máxima (Marín y Toro, 2018).

#### **2.4.8. *Análisis 1D***

Mediante la simulación 1D podemos observar los efectos inerciales en las secciones transversales de los agujeros de entrada y salida independientemente en el sistema de escape, además que también nos permite insertar los valores de los volúmenes de entrada y salida. Nos ofrece también información sobre la velocidad de flujo o los perfiles de distribución de hollín, la regeneración, el análisis de gradiente de temperatura, etc., que muestran una alta precisión y fiabilidad (Guamán et al., 2019).

El sistema de escape está compuesto principalmente de ductos que pueden simularse de manera muy precisa utilizando códigos unidimensionales, ya que son una opción correcta para ahorrar tiempo tanto en el cálculo como en la simulación mediante un código 3D y un código 1D (Guamán et al., 2019).

Para el presente estudio se utilizará el software de simulación 1D OpenWAM, ya que mediante estudios previos demuestran que este software utiliza un modelo dinámico de gases unidimensionales de código abierto, cumpliendo la función de calcular los flujos de aire y gas de los sistemas de admisión y escape, además el software nos permite calcular el proceso de llenado y vaciado en cilindros, cámaras, turbinas, intercambiadores de calor por medio de un modelo matemático. Adicionalmente, el software OpenWAM es uno de los mejores para el cálculo del movimiento de la onda de presión en las tuberías de admisión y escape que intervienen directamente en el rendimiento de un motor de combustión interna (Guamán et al., 2019).

De acuerdo con Arroyo, quien utilizó el software OpenWAM para el análisis de dos tipos de configuración de múltiples de escape, manteniendo constante el sistema que representa el múltiple de admisión y cilindros del motor, en la que el colector de configuración 4-1 ayuda a disminuir la turbulencia, reducir pérdidas de flujo y teóricamente tiene el mayor caudal, por lo que trabaja mejor en altas revoluciones. También se logró incrementar la velocidad de salida de los gases producto de la combustión, logrando así obtener mayores valores de potencia a altas revoluciones y un aumento del torque con respecto al sistema original en un 8.83 % (Arroyo, 2017).

#### **2.4.9. *Banco de pruebas de motores***

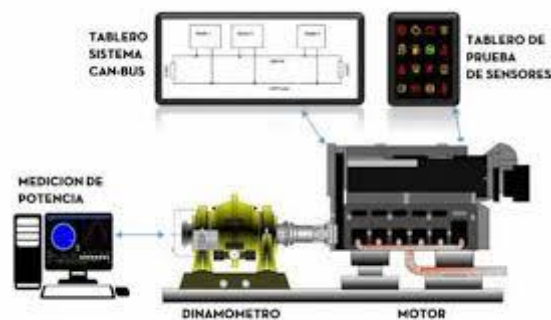
##### **2.4.9.1. *Dinamómetro***

Un dinamómetro, también conocido como "dinamómetro", es un dispositivo que mide la fuerza, el par o la potencia. Para aplicaciones de chasis o motor, un dinamómetro está diseñado para crear

una carga para duplicar varios requisitos de velocidad (RPM) y torque (Nm o lb-ft). A partir de estos datos, se puede calcular la potencia (HP o kW). Esto, a su vez, proporciona una instantánea del rendimiento del chasis o del motor para compararlo con las especificaciones del fabricante. Normalmente, un dinamómetro le da al operador la capacidad de variar la carga aplicada a la unidad bajo prueba para imitar requisitos específicos (Rafael y Hernández, 2014).

#### 2.4.9.2. *Dinamómetro de motor*

El dinamómetro de motor es un artefacto que mide en condiciones de operación reales. El dinamómetro de motor disipa la energía que produce el motor de combustión interna, al mismo tiempo que se miden el par torsional y la velocidad del motor mediante sensores, por medio de estas variables se calcula la potencia. Este tipo de dinamómetro es algo tedioso ya que, para probar un motor, este se tiene que desmontar del vehículo para luego con precisión al dinamómetro a través de la flecha. Es por ello que el dinamómetro de motor es principalmente utilizado por los fabricantes de motores para determinar las prestaciones de cada motor. Este equipo de medición es el único reconocido a nivel internacional para determinar el rendimiento de potencia de un motor (Rafael y Hernández, 2014).

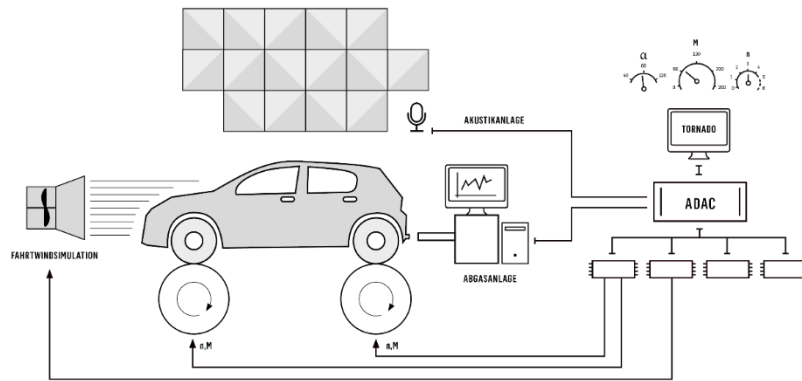


**Figura 15-2:** Dinamómetro de motor

**Fuente:** (Carmona, 2018)

#### 2.4.9.3. *Dinamómetro de rodillos*

Los dinamómetros de rodillos ayudan a calcular la potencia en las ruedas del vehículo. De antemano se conoce que el torque que genera el motor se transfiere a la caja de velocidades y esta a su vez transmite un torque diferencial a las ruedas. Debido a las múltiples transmisiones se da una pérdida de energía es por ello que la potencia que llega a las ruedas es substancialmente menor de la que sale del motor (Rafael y Hernández, 2014).



**Figura 16-2:** Dinamómetro de rodillo

**Fuente:** ( KS ENGINEERS, 2021)

Los dinamómetros miden torque y velocidad angular del motor y a partir de dichos datos se calcula la potencia. Una vez que hemos medido el torque y lo multiplicamos por la velocidad angular obtenemos la potencia. La potencia se expresa en caballos de potencia (HP) o Kilowatt (KW) (Rafael y Hernández, 2014).

El dinamómetro del banco de pruebas del IMT es un dinamómetro de motor. Que tiene la capacidad de medir potencias de hasta 250 HP.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

Inicialmente se debe conocer las características y datos técnicos del vehículo en el cual se realizará las modificaciones del sistema de escape.

#### 3.1. Datos técnicos del vehículo en estudio

El vehículo en el que se realizara el estudio presenta las siguientes características generales:

**Tabla 1-3:** Características generales del vehículo

<b>Modelo</b>	Corsa 3 puertas
<b>Tipo de vehículo</b>	coupe
<b>Año modelo</b>	1996
<b>Color</b>	Blanco
<b>Tipo de peso</b>	Liviano
<b>Marca</b>	Chevrolet

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

**Tabla 2-3:** Características técnicas del vehículo

<b>Motor</b>	
<b>Combustible</b>	Gasolina
<b>Potencia máxima (cv)</b>	60
<b>Revoluciones potencia máxima (rpm)</b>	5200
<b>Torque máximo (Nm)</b>	111
<b>Revoluciones torque máximo (rpm)</b>	2800
<b>Numero de cilindros</b>	4
<b>Disposición de los cilindros</b>	En línea
<b>Cilindrada</b>	1389 cc
<b>Diámetro pistón (mm)</b>	77,6
<b>Carrera (mm)</b>	73,4
<b>Alimentación</b>	Inyección electrónica monopunto
<b>Válvulas por cilindro</b>	2



<b>Relación de compresión</b>	9,4:1
<b>Diámetro de cabeza de válvula de admisión (mm)</b>	33
<b>Diámetro de cabeza de válvula de escape (mm)</b>	29

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

**Tabla 3-3:** Transmisión

<b>Transmisión</b>	
<b>Tracción</b>	Delantera
<b>Caja de cambios</b>	Manual
<b>Numero de velocidades</b>	5
<b>Relación de marchas</b>	1° 3,55
	2° 1,96
	3° 1,30
	4° 0,89
	5° 0,71
	R 3,31
<b>Relación de diferencial</b>	4,53

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

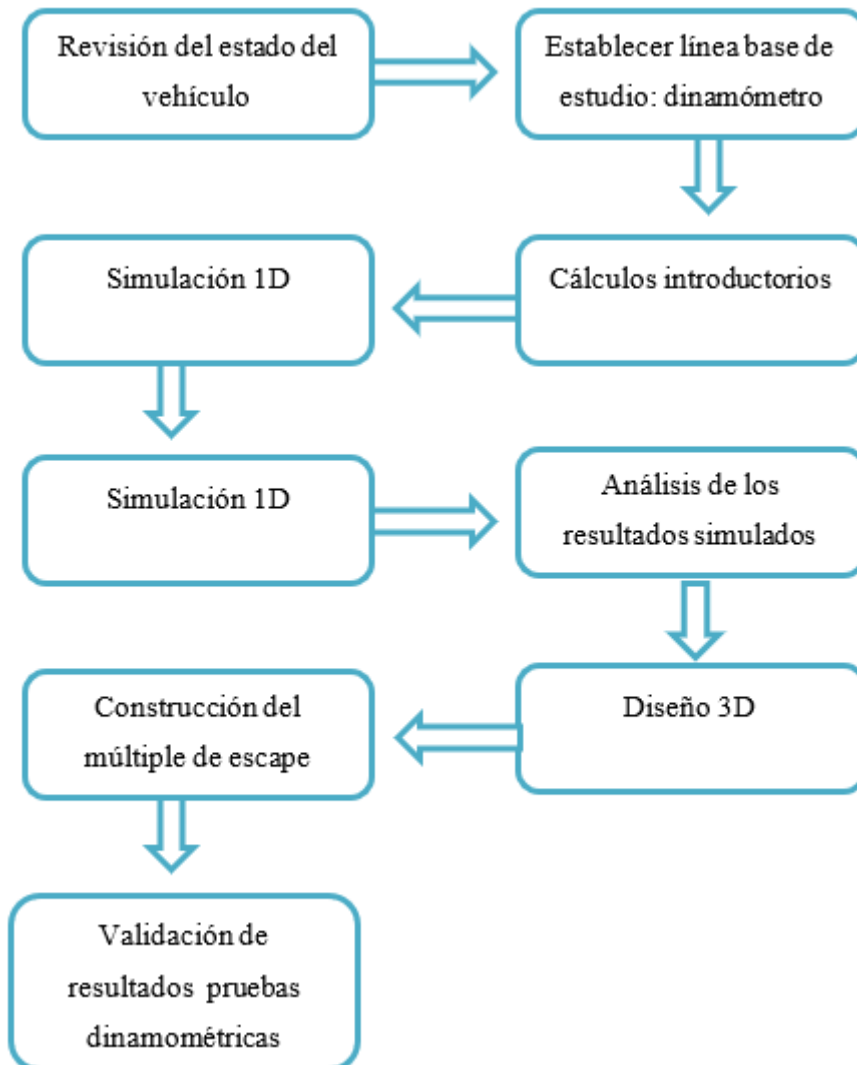


**Figura 1-3:** Vehículo Corsa

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

### 3.2. Diagrama de etapas del proyecto

Se procedió mediante la implementación de graficas secuenciales que represente el procedimiento que se aplicara para la obtención de cada etapa, el mismo que esta ordenado por fases.



**Figura 2-3:** Diagramas de etapas del proyecto

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

### 3.3. Metodología de investigación a realizar

Mediante la investigación experimental manipulando las variables bajo condiciones controladas, se analizará los efectos de la configuración, longitud y forma de las tuberías del múltiple de escape sobre las curvas de torque y potencia (Calle y Rivas, 2014).

En el presente estudio se aplicará el método empírico es decir basado en la observación de las deficiencias en el diseño y construcción de los múltiples de escape elaborados en Ecuador,

juntamente con la experimentación de varias configuraciones, dimensiones de colectores y proceso de construcción (Arroyo, 2017).

Adicionalmente, con la simulación mediante software en base a métodos matemáticos, se reproducen las condiciones de trabajo del motor y flujo de los gases combustionados mediante el uso de herramientas 1D y 3D, para finalmente validar los resultados experimentalmente en un dinamómetro de rodillos (Calle y Rivas, 2014).

En el trabajo se investigará el comportamiento de dos tipos de configuraciones de múltiple de escape y el colector original mediante el método de simulación computacional 1D/3D y la validación experimental a través de pruebas dinamométricas según la norma INEN 960 (Ramírez, 2014).

### 3.4. Cronograma de actividades

Las diferentes actividades para el desarrollo del proyecto se encuentran detalladas en la tabla 4-3 que se presenta a continuación.

**Tabla 4-3:** Cronograma de actividades

<b>Actividades</b>	<b>Tiempo estimado (en semanas)</b>	<b>Observación</b>
Revisión bibliográfica	Semana 1	
Análisis de datos de las prestaciones actuales que presenta el vehículo Chevrolet corsa 1300 cc	Semana 2	
Simulación computacional	Semana 3-4	
Diseño del múltiple de escape con mejores características	Semana 5-6	
Construcción e implementación del múltiple de escape al vehículo Chevrolet corsa 1300 cc	Semana 7-8-9	
Pruebas dinamométricas	Semana 10	
Interpretación de resultados	Semana 11	
Elaboración del escrito	Semana 12-12-14	
Revisión del documento por parte de tutor y asesor	Semana 15	

Correcciones finales del proyecto	Semana 16	
-----------------------------------	-----------	--

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

### 3.5. Recursos y materiales

Los recursos empleados para la realización del proyecto se establecen para conocer la cantidad de dinero que se invertirá para obtener el producto final deseado. Por lo cual se puede establecer el costo al cual puede ser comercializado, obteniendo un cierto porcentaje de utilidad.

Podemos clasificar de tres maneras a los recursos a invertir: costos directos, costos indirectos y servicios necesarios.

#### 3.5.1. Costos Directos

para este tipo de costos podemos tener: costos de proceso, costos de mano de obra, materiales y depreciación de equipos y herramientas.

#### 3.5.2. Costos Indirectos de Fabricación

son los necesarios para llevar a cabo la fabricación del elemento a usar.

#### 3.5.3. Costo del proceso de soldadura

Para determinar el costo del proceso debemos saber el salario básico que recibe un trabajador mecánico, y el costo de materiales esenciales que se requieren para el proceso.

**Tabla 5-3:** Salario mensual obrero Ecuador

Salario del obrero	Valor USD
Mensual	400
Por hora	2.5

**Fuente:** (Ministerio del trabajo, 2021)

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

#### 3.5.4. Materiales

El costo de los materiales que se emplearán para la construcción de los diferentes elementos que serán necesarios para la ejecución del trabajo de investigación. En la siguiente tabla se detalla el costo de los diferentes materiales.

**Tabla 6-3: Costos Materiales**

Descripción	Cantidad	V. Unitario USD	V. Total USD
Tubo de acero negro 1" ¼ x 2mm	1	15.00	15.00
Tubo de acero negro 1" 1/2x 2mm	1	15.00	15.00
Tubo de acero galvanizado 2" x 1.8mm	1	25.00	25.50
Tubo de acero negro 3" x 2.8mm	1	20.00	20.00
Kit discos Dremel	1	18.50	18.50
Hojas de Sierra	5	1.35	6.75
Discos de Corte 12"	1	7.67	7.67
Discos de Desbaste 7/8	1	0.90	0.90
Lijas 80	4	0.80	3.20
Lijas 150	4	0.80	3.20
Lijas 300	4	0.80	3.20
<b>TOTAL</b>			118.92

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

### 3.5.5. Recursos humanos

Conociendo el valor del salario del obrero por hora, se puede determinar el costo del proceso de soldadura; siendo:

**Tabla 7-3: Costo de mano de obra**

Proceso de soldadura	Valor unitario	Cantidad	Unidades	Costo total
Mano de obra	2.5	32	Horas	80
Electrodos hilo	11.35	3	piezas	34.05
Total				114.05

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

De acuerdo con la tabla realizada podemos apreciar el costo del proceso de soldadura que es: 114.05 USD. También podemos analizar los costos de los materiales para la fabricación del múltiple de escape.

### 3.5.6. Recursos económicos

Los recursos económicos empleados para el proyecto se describen a continuación.

### 3.5.6.1. Costos Indirectos de Fabricación

Dentro de los costos indirectos de fabricación se encuentra los servicios básicos, costos de mantenimiento e insumos.

**Tabla 8-3:** Costos indirectos de fabricación

Costos indirectos de fabricación	Valor USD
Energía eléctrica, agua, teléfono.	80.00
Mantenimiento de maquinaria	50.00
Insumos	20.00
<b>Total</b>	<b>150.00</b>

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

También es necesario conocer los elementos indirectos de fabricación, los mismos se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 9-3:** Elementos indirectos de fabricación

Descripción	Elemento	Costo USD
Costo bujes de unión del sistema escape motor		100.00
Empaques para el múltiple de escape		20.00
Silenciador		80.00
<b>Total</b>		<b>200.00</b>

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

### 3.5.6.2. Costo total de fabricación del sistema del múltiple de escape

El costo total es la suma de los costos directos e indirectos de fabricación, en donde tenemos:

**Tabla 10-3:** Costo total

<b>Costo</b>	<b>Valor USD</b>
Proceso de soldadura	114.05
Materiales	118.92
Costos indirectos de fabricación	150.00
Elementos indirectos de fabricación	200.00
<b>TOTAL, USD</b>	<b>582.97</b>

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

### 3.5.6.3. Costos Pruebas en Dinamómetro

Para la validación de los datos del múltiple seleccionado para mejorar el rendimiento del vehículo, se optó por realizar pruebas en un dinamómetro de rodillos el cual se detalle los costos en la siguiente tabla.

**Tabla 11-3:** Costos de pruebas en dinamómetro

<b>Costos</b>	<b>Valor USD</b>
Dinamómetro por hora	80.00
Valor 4 horas	320.00
<b>Valor total dinamómetro</b>	<b>400.00</b>

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

### 3.5.6.4. Costos Varios

Entre los costos adicionales necesarios para la realización del proyecto se encuentran los detallados en la tabla a continuación.

**Tabla 12-3:** Costos Varios

<b>Costos</b>	<b>Valor USD</b>
Transporte	50.00
Alimentación	150.00
Material de oficina	200.00
Herramientas extras	50.00
Servicio mecánico	40.00
Varios	50.00
<b>Total</b>	<b>540.00</b>

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Tenemos después de analizar los costos directos e indirectos sumado de las pruebas a realizarse en el dinamómetro de rodillos, los costos varios, el total a invertir sería **USD 1442.97**

### 3.6. Procedimiento

#### 3.6.6. *Revisión del estado del vehículo*

Antes de realizar las primeras pruebas en el dinamómetro se procede a la revisión del estado del vehículo para asegurarnos que no existan fallas que alteren los resultados, como el vehículo en estudio fue un Chevrolet Corsa Wind del 1996 MPFI, se tuvo la opción de escanearlo y obtener valores reales de los diferentes sensores en tiempo real, tales como el funcionamiento del sensor de oxígeno, el funcionamiento del sensor MAP, funcionamiento de la válvula IAC, etc. Tal como se observa en la figura 3-3, determinando así que el vehículo se encontraba en perfectas condiciones, y no presentaba fallas que alterarían los resultados a obtenerse con los diferentes sistemas de escape.

Artículo(P.3/4)			Artículo(P.4/4)		
Artículo(P.3/4)	Valor	Unidad	Artículo(P.4/4)	Valor	Unidad
O2 Loop BLM Enable	Active		High Fan Relay	Inactive	
O2 BLM Cell Number	5		Sensor de barómetro	0.75	bar
O2 BLM Cell Content	108	step	Vehicle Speed Pulse	Not received	
Long term fuel trim	-16	%	Vehicle Speed	0	km/h
Engine Speed	2350	rpm	Full load enrichment	Inactive	
Desired engine idle speed	950	rpm	A/C Relay	Inactive	
IAC Control Enable	Inactive		Dec. Fuel Cutoff	Inactive	
Idle air control	83	step			
Injection pulse	1	mV			
Low Fan Relay	Inactive				

**Figura 3-3:** Escáner Chevy Corsa Wind 1300cc

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

En el capítulo IV se observarán los datos obtenidos de los ensayos aplicados con el sistema de escape original.

#### 3.6.7. *Cálculo de longitudes y diámetro internos*

Con la ayuda de las correlaciones de A. Graham Bell investigadas se procederá a realizar los cálculos para cada una de las configuraciones de los colectores de escape en estudio con los datos



del vehículo en cuestión para establecer parámetros base que a su vez se adaptaran al vehículo y poder realizar la simulación 1D respectiva.

### 3.6.7.3. Sistema 4-1

Mediante las correlaciones de Graham Bell se calculará las longitudes de la salida de los conductos del colector de escape (P), la longitud del conducto final (CK+TL) y sus respectivos diámetros.

Para la longitud de los conductos de salida se utilizará la ecuación 1:

$$P = \frac{850 * ED}{n} - 3 \quad (1)$$

Dónde:

- ED es igual a 255 grados, ya que el vehículo presenta un RCE de 10 grados, un AAE de 55 grados, y un AAA de 10 grados.
- n = 5400 RPM, este dato se determinó en las primeras pruebas dinamométricas

Resolviendo tenemos:

$$P = \frac{850 * 245}{5400} - 3 = 37.13 \text{ in} \approx 94.3 \text{ cm}$$

Para calcular el diámetro interno de los ductos de salida se usa la ecuación 2.

$$ID = \sqrt{\frac{cc * 2}{(P + 3) * 25}} * 2.1 \quad (2)$$

Donde:

- CC es igual a 325 cc, ya que la cilindrada total es de 1300 cc y se lo divide para los cuatro cilindros.

Resolviendo tenemos:

$$ID = \sqrt{\frac{325}{(37.13 + 3) * 25}} * 2.1 = 1.19 \text{ in} \approx 3 \text{ cm}$$

Para el cálculo de la longitud final del tramo se dice que esta será la misma que los tubos del colector primario más 3 pulgadas.

$$LF = P + 3 \rightarrow LF = 37.13 + 3 = 40.13 \text{ in} \approx 101.9 \text{ cm}$$

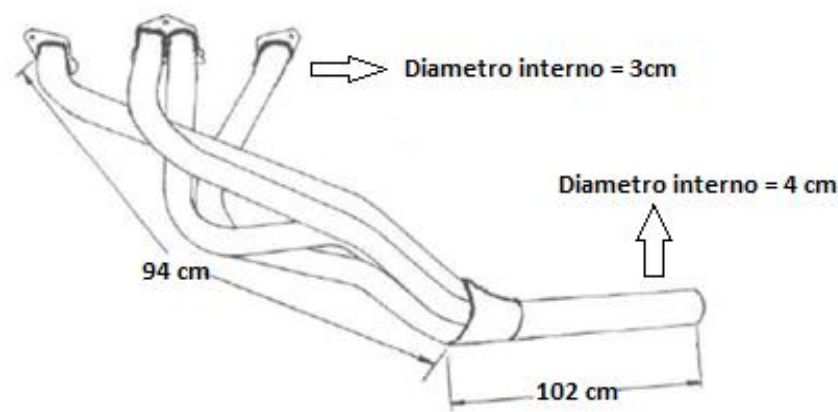
Y para calcular el diámetro interno del tubo del tramo final se usa la ecuación 3.

$$ID3 = \sqrt{\frac{cc * 2}{(P'' + 3) * 25} * 2} \quad (3)$$

Resolviendo tenemos:

$$ID3 = \sqrt{\frac{325 * 2}{(37.13 + 3) * 25} * 2} = 1.6 \text{ in} \approx 4 \text{ cm}$$

Aplicando las correlaciones de Graham se obtuvo las siguientes dimensiones:



**Figura 4-3:** Dimensiones para un múltiple de escape de configuración 4-1 un motor Chevrolet 1300 cc.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

#### 3.6.7.4. Sistema 4-2-1

Para un colector de escape de configuración 4-2-1, se deben aumentar dos variables más en comparación a la configuración 4-1, la longitud y el diámetro del colector secundario.

La longitud del colector primario siempre será 15 in ó 38.1 cm

Para la longitud de los tubos del colector secundario se calcula restando la longitud  $P$  menos la longitud del colector primario:

Dónde:

- P es igual a 37.13 in, dato obtenido en el cálculo de la longitud del colector con configuración 4-1

Resolviendo:

$$P_2 = 37.13 - 15 = 22.13 \approx 56.21 \text{ cm}$$

El diámetro de los tubos del colector secundario se calcula mediante la ecuación 4:

$$IDS = \sqrt{ID^2 * 2 * 0.93} \quad (4)$$

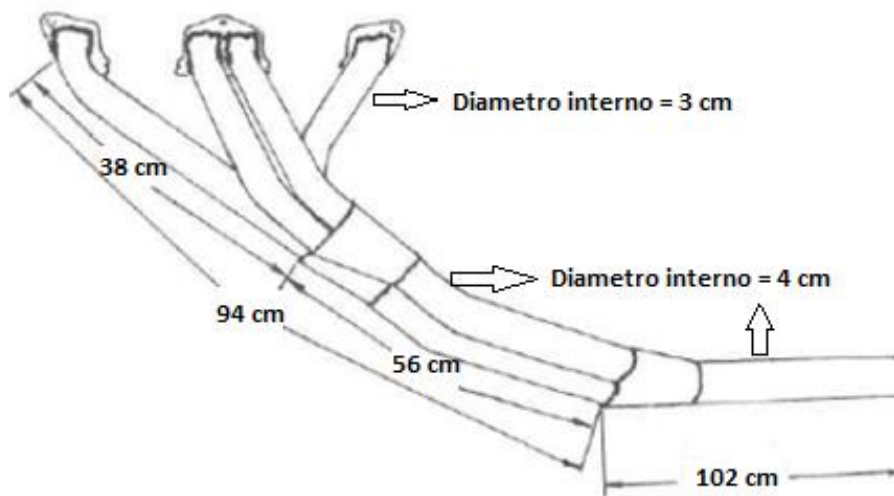
Dónde:

- ID es igual a 1.19 in, dato obtenido en el cálculo del colector con configuración 4-1

Resolviendo:

$$IDS = \sqrt{1.19^2 * 2 * 0.93} = 1.56 \text{ in} \approx 3.97 \text{ cm}$$

Aplicando las correlaciones de Graham se obtuvo las siguientes dimensiones:



**Figura 5-3:** Dimensiones para un múltiple de escape de configuración 4-2- para un motor Chevrolet 1300 cc.












Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

### 3.7. Simulación 1D

La simulación 1D se la realizará en el software OpenWAM, el mismo que posee una interfaz de un sistema de bloques donde se ingresan datos de cada componente del motor que va desde la admisión hasta la salida de gases residuales, estableciendo el tipo de motor, número de cilindros, válvulas, conductos de admisión-escape y conexiones entre sistemas conforme al modelo que se requiere analizar.

En la tabla 13-3 mostraremos los elementos que se usaran en el software:

**Tabla 13-3:** Elementos empleados para la simulación 1D en el software OpenWAM.

Denominación	Elemento	Concepto
Motores		Motor 4 tiempos
		Cilindro 4 tiempos
Nodos de unión		Ramificación
		Unión entre dos conductos
		Extremo a la atmosfera
Conexiones		Unión a deposito
		Válvula de admisión
		Válvula de escape
Elementos 0D		Cámara de volumen constante
Varios		Condiciones iniciales
		Línea de conexión

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

El software permite ingresar condiciones en las cuales se desea trabajar, por lo tanto, se ha utilizado los datos iniciales que se muestran en la siguiente gráfica.

Property	Value
Motor type	Spark ignited
Engine operating condition	Transient at constant speed
EGR's calculation	No
Number of cycles without thermal inertia	10
Wall temperature calculation	Variable with thermal inertia
Initial engine speed (rpm)	2000
Intake pressure at the intake closing (bar)	0,75
Combustion efficiency	0
Fuel heating power (kJ/kg)	41870
Fuel density (Kg/m3)	854
Duct number of volumetric efficiency	Not defined
Combustion model	Imposing Heat Release Law
Injection data	No data

**Figura 6-3:** Datos generales del motor Chevrolet CORSA 1300 cc.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Adicionalmente, se establecieron los parámetros de cálculo y el modelo utilizado en el bloque de ejecución tal y como se muestra en la figura 7-3.

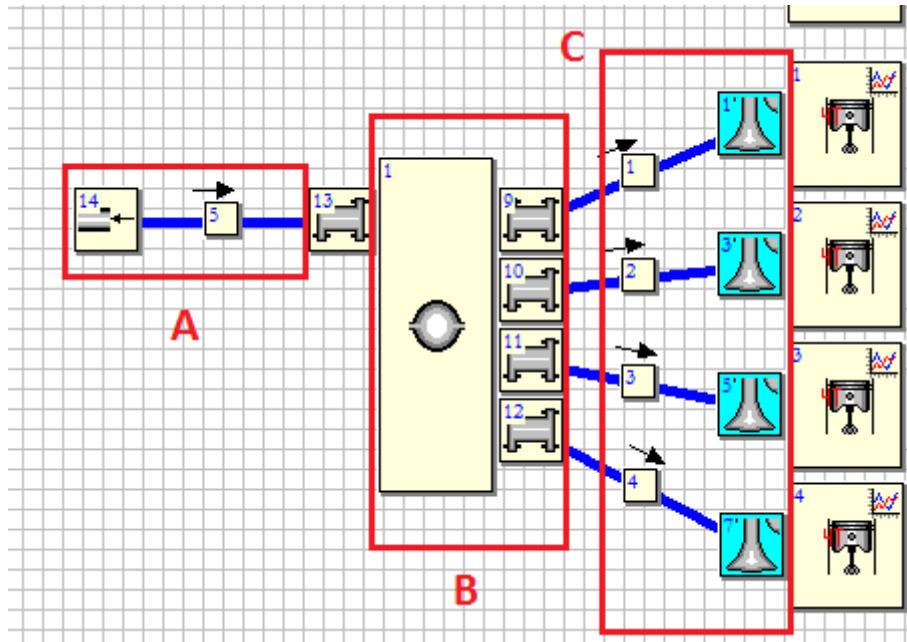
Property	Value
Calculation methodology	Common
Number of engine cycles or simulation duration (s)	10
Specific heat ratio	Specific heat ratio constant
Ambient pressure (bar)	0,75
Ambient temperature (°)	25
Species calculation	Simplified
Allow external calculations	No
Consider fuel specie	Yes
Fuel substance	Gasoline

**Figura 7-3:** Parámetros de cálculo para la simulación 1D en el software OpenWAM

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

### 3.7.3. Sistema de admisión

En cuanto al sistema de admisión, se optó por dividirlo en tres secciones como se observa en la figura 8-3 que se encuentra a continuación.



**Figura 8-3:** Sistema de admisión generado en el software OpenWAM

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

#### 3.7.1.1. Datos de la sección A. Sistema de admisión

Esta sección corresponde a la entrada de aire atmosférico desde el ambiente hasta llegar a la cámara de admisión.

Defining duct number 5

Property	Value
Inlet diameter (mm)	60

Nº	Length (mm)	Outlet diameter (mm)
1	240	60
2	240	60

**Figura 9-3:** Datos de la sección A.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

### 3.7.1.2. Datos de la sección B. Sistema de admisión

Esta sección corresponde a la cámara de admisión y al colector de admisión. Los datos ingresados para la cámara de admisión se encuentran en la figura 10-3. Mientras que, los datos del colector se observan en la figura 11-3.

Property	Value
Plenum volume (cm <sup>3</sup> )	329,7
Initial temperature (°C)	25
Initial pressure (bar)	0,75

**Figura 10-3:** Datos ingresados correspondientes a la cámara de admisión

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Property	Value
Inlet diameter (mm)	32

Nº	Length (mm)	Outlet diameter (mm)
1	260	32

**Figura 11-3:** Datos ingresados correspondientes al colector de admisión

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

### 3.7.1.3. Datos de la sección C. Sistema de admisión

Esta sección corresponde a las válvulas de admisión, los datos ingresados se detallan en la figura mostrada a continuación.

Property	Value
Valve diameter (mm)	33
Valve opening (°)	245
Speed control	Engine
Speed	0
Speed ratio	1

**Figura 12-3:** Datos ingresados correspondientes a las válvulas de admisión

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

#### 3.7.1.4. Datos técnicos de los conductos de admisión

El espacio de malla, permite definir los pasos de cálculo utilizados en el conducto; mientras menor sea este valor, se alcanza mayor precisión, pero con mayor tiempo de resolución. Se sugiere espacios pequeños en conductos principales o críticos y valores mayores (en el orden de los cm) en los conductos secundarios.

En la sección de cálculo de temperatura de pared se seleccionó constante, puesto que las otras opciones se utilizan cuando se dispone de un intercooler. Para la temperatura se utiliza en la admisión el mismo valor introducido en el bloque de ejecución “EJEC”.

Dentro de geometría, se puede definir el diámetro y longitud del conducto; al variar el diámetro de entrada respecto a la de salida se considera un tubo cónico. Se seleccionó el método numérico de resolución TVD para los conductos de escape y Lax Wendroff para la admisión. Los datos técnicos se muestran en la figura 13-3.

Property	Value
Spatial mesh (mm)	0,05
Duct type	Intake pipes
Wall temperature calculation	Variable without thermal inertia
Duct roughness (mm)	0,15
Initial wall temperature (°C)	20
Initial gas temperature (°C)	25
Initial gas pressure (bar)	0,75
Initial gas velocity (m/s)	0
Heat transfer correction coefficient	1
Friction correction coefficient	1
Nº of intercooler ducts	1

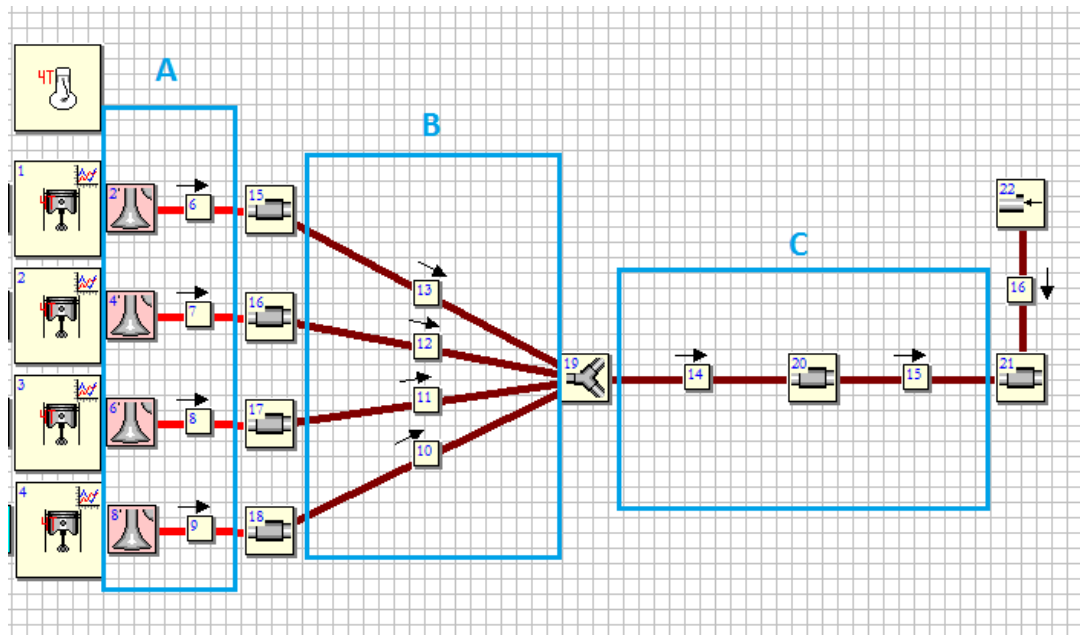
**Figura 13-3:** Datos ingresados correspondientes a los conductos de admisión

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

#### 3.7.2. Sistema de escape

El sistema de escape de igual manera se la ha dividido en tres secciones tal como se muestra en la figura 14-3.





**Figura 14-3:** Sistema de escape generado en el software OpenWAM

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

*3.7.2.1. Datos de la sección A. Sistema de escape*

La sección A esta compuesta por las válvulas de escape y los ductos que van hasta el block del motor.

Los datos ingresados para las válvulas de escape se muestran en la siguiente figura.

Defining valve number 2	
Property	Value
Valve diameter (mm)	29
Valve opening (°)	245
Speed control	Engine
Speed	0
Speed ratio	1

**Figura 15-3:** Datos ingresados correspondientes a las válvulas de escape

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Los datos ingresados para los ductos de escape se muestran en la figura 16-3.

Property	Value
Spatial mesh (mm)	0,005
Duct type	Exhaust ports
Wall temperature calculation	Variable without thermal inertia
Duct roughness (mm)	0,15
Initial wall temperature (°C)	20
Initial gas temperature (°C)	25
Initial gas pressure (bar)	1
Initial gas velocity (m/s)	0
Heat transfer correction coefficient	1
Friction correction coefficient	1
Nº of intercooler ducts	1

Property	Value
Inlet diameter (mm)	29

Nº	Length (mm)	Outlet diameter (mm)
1	85	30

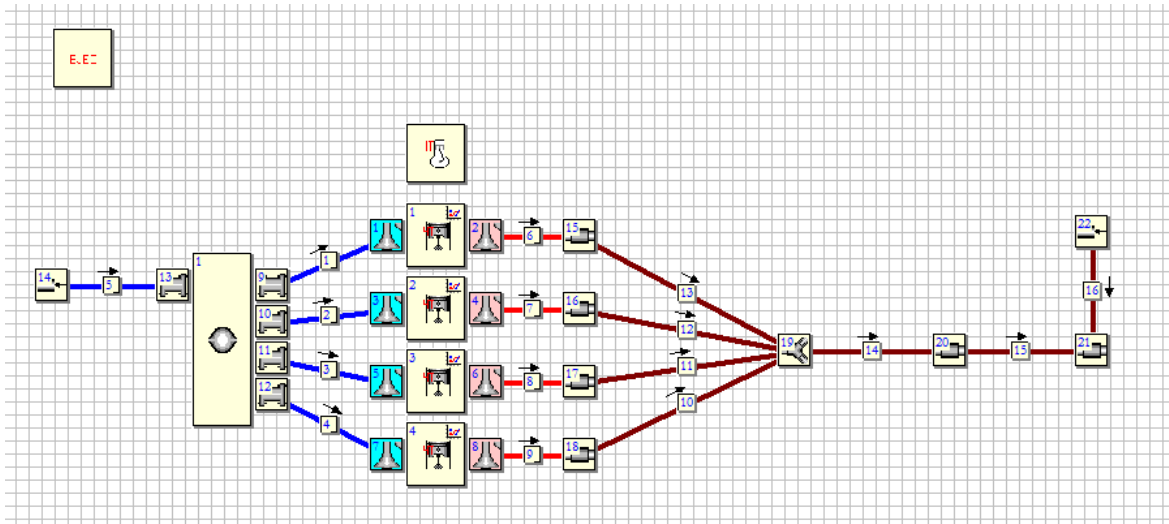
**Figura 16-3:** Datos ingresados correspondientes a los ductos de escape

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Para la realización de la simulación 1D se modificó la sección B y la sección C y para ello se ha propuesto cinco diseños, el primer diseño será el colector original del vehículo, ya que con esta podremos verificar el grado de aceptación del software y compararlo con las pruebas dinamométricas iniciales, el segundo diseño propuesto será un colector de configuración 4-1 que tenga las medidas obtenidas con los cálculos realizados, así mismo el tercer diseño será un colector de configuración 4-2-1 que corresponda las medidas a los cálculos realizados, para el cuarto diseño y quinto diseño se tomará en cuenta la disponibilidad del vehículo en cuestión de espacio.

### 3.7.3. Simulación con un sistemas 4-1

Para la simulación con el colector de configuración 4-1 primero se armó el circuito como se muestra en la figura 17-3, llenado los datos de la admisión y la parte A del sistema de escape con los antes mencionados, para así poder variar las longitudes de la parte B y la sección C.



**Figura 17-3:** Circuito de un sistema de escape 4-1. Motor Chevrolet Corsa 1300cc.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Las longitudes propuestas para la simulación con una configuración 4-1, son las mostradas a continuación.

**Tabla 14-3:** Dimensiones de los ductos de la sección B y C del múltiple de escape con configuración 4-1

	Ductos primarios		Ducto secundario	
	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
<b>Original</b>	40	3	90	3.5
<b>Prototipo A según Guilleri</b>	94	3	102	4
<b>Prototipo B propuesto</b>	108	3	102	4

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

Una vez ejecutada la simulación con las longitudes propuestas, los resultados fueron los mostrados en la tabla 15-3.

**Tabla 15-3:** Resultados obtenidos de la simulación 1D del múltiple de escape con configuración 4-1

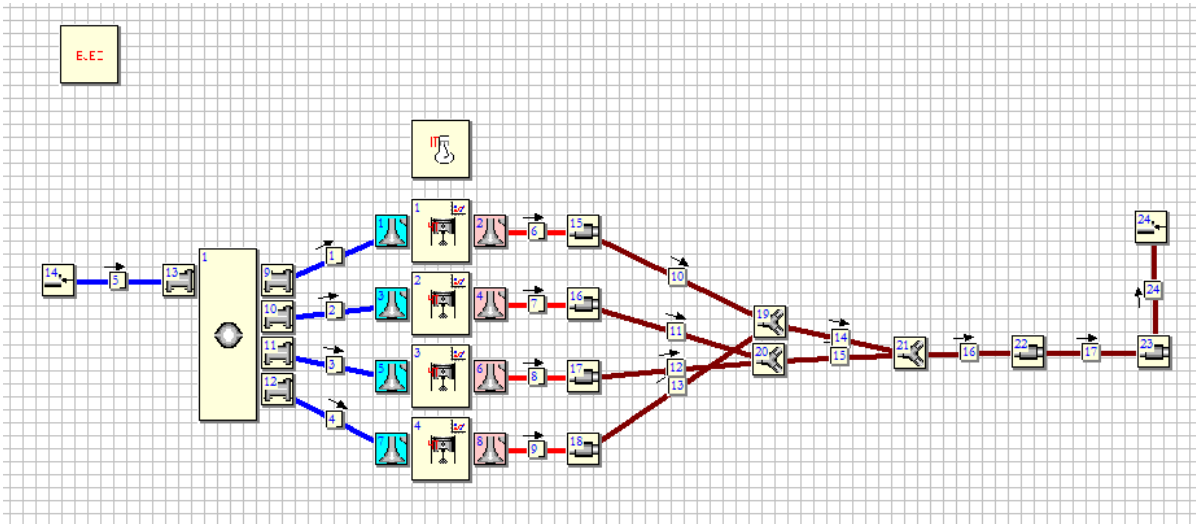
Prototipo	Potencia (hp)	RPM
<b>Original</b>	75.9875	5200
<b>Prototipo A según Guilleri</b>	78.6876	5200

<b>Prototipo B propuesto</b>	78.1024	5200
------------------------------	---------	------

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

### 3.7.4. Simulación con un sistemas 4-2-1

Para la simulación con el colector de configuración 4-2-1 de igual manera, primero se armó el circuito en el software de la siguiente manera, llenado los datos de la admisión y la parte A del sistema de escape con los antes mencionados, para así poder variar las longitudes de la parte B y la sección C.



**Figura 18-3:** Circuito de un sistema de escape 4-2-1. Motor Chevrolet Corsa 1300cc.

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

Las longitudes propuestas para la simulación con una configuración 4-1, son las mostradas a continuación.

**Tabla 16-3:** Resultados obtenidos de la simulación 1D del múltiple de escape con configuración 4-2-1

	Ductos primarios		Ducto secundario		Ducto terciario	
	<i>Longitud</i> (cm)	<i>Diámetro</i> (cm)	<i>Longitud</i> (cm)	<i>Diámetro</i> (cm)	<i>Longitud</i> (cm)	<i>Diámetro</i> (cm)
<b>Prototipo C según Guilleri</b>	38	3	56	4	102	4
<b>Prototipo D propuesto</b>	42	3	66	4	102	4

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

Una vez ejecutada la simulación con las longitudes propuestas, los resultados fueron los mostrados en la tabla 17-3.

**Tabla 17-3:** Resultados obtenidos de la simulación 1D del múltiple de escape con configuración 4-2-1

<b>Prototipo</b>	<b>Potencia (hp)</b>	<b>RPM</b>
<b>Prototipo C según Guilleri</b>	80.5854	5200
<b>Prototipo D propuesto</b>	80.0387	5200

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

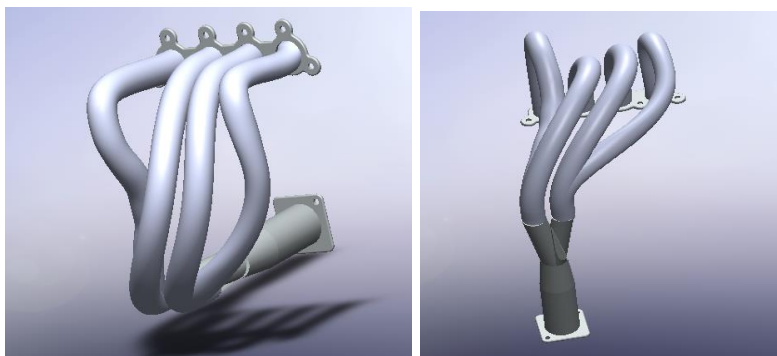
### 3.7.5. *Diseño 3D*

Para el diseño 3d se **Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

utilizó el software de modelado SolidWorks, en el mismo se pudo establecer diámetros, longitudes y ángulos de doblaje de la tubería para su posteriormente realizar la construcción. El dimensionamiento se lo realizó mediante la observación de los mejores resultados obtenidos en la simulación 1D realizada mediante el software OpenWAM. Para los diferentes sistemas de escape.

#### 3.5.4.1. *Sistema 4-1*

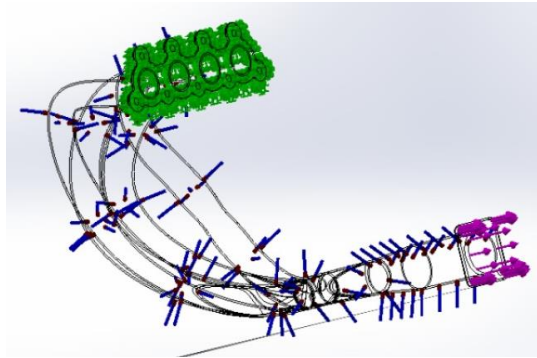
En la figura mostrada a continuación se observa el modelado 3D de un múltiple de escape con configuración 4-1.



**Figura 19-3:** Modelado 3D de un múltiple de escape 4-1.

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021

Posteriormente, se realizó un análisis de esfuerzos, generados por los dobleces necesarios para la construcción del múltiple de escape. Los mismos que se encuentran a continuación.

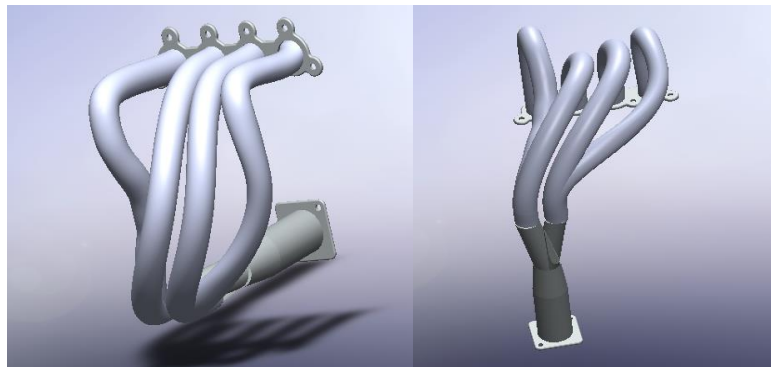


**Figura 20-3:** Simulación de esfuerzos.  
Múltiple de escape con configuración 4-1.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

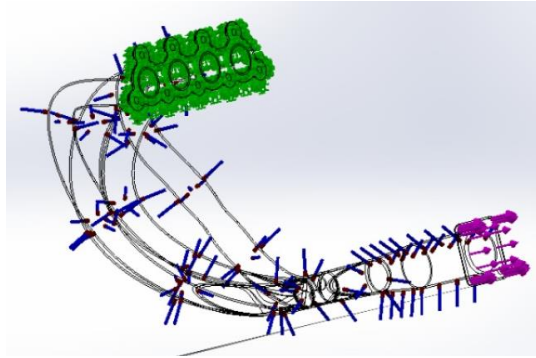
#### 3.7.5.1. Sistema 4-2-1

4. En la figura mostrada a continuación se observa el modelado 3D de un múltiple de escape con configuración 4-2-1.



**Figura 21-3:** Modelado 3D de un múltiple de escape 4-2-1.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021



**Figura 22-3:** Simulación de esfuerzos.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021

#### **4. Construcción del múltiple**

Una vez analizados los sistemas más óptimos de acuerdo con la simulación 1D se procedió a la construcción, un múltiple de escape con configuración 4-1 y otro con una configuración 4-2-1.

Primero se procedió a la fabricación del soporte sobre el cual van sujetos los ductos y a su vez se une al block del motor, este paso se realizó tomando como moldura al empaque que une el block con el múltiple de escape.



**Figura 23-3:** Soporte que une el sistema de escape al block del motor del vehículo Chevrolet corsa 1300 cc.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

La elaboración de los ductos se realizó por el método del doblado de las tuberías, donde se observó el estrechamiento de la sección transversal en las curvaturas. Para este proceso se cortó los tubos de la longitud especificada en el diseño y se dobló de acuerdo a los ángulos requeridos mediante una dobladora de tubos hidráulica, como se muestra en la figura 22-3.



**Figura 24-3:** Proceso de doblado.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

Posterior al proceso de doblado se procedió a la soldadura, pulida y pintura de cada una de las configuraciones del sistema de escape. Este proceso se observa en la figura 23-3:



**Figura 25-3:** A) Soldadura eléctrica de los tubos B) pulida externa C) Pintada del múltiple terminado

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.



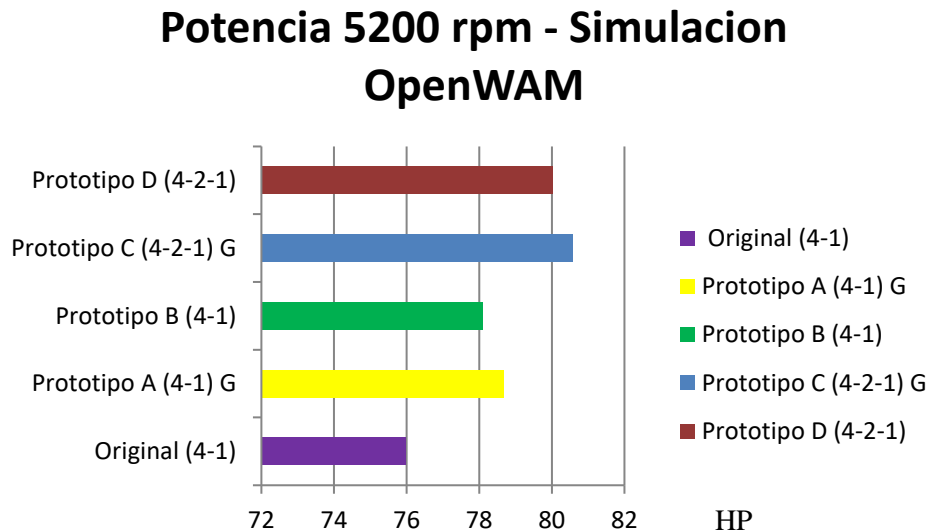
## CAPITULO IV

### 5. Resultados

En el presente capítulo se describen todos los resultados obtenidos a partir de ensayos realizados en el dinamómetro de rodillos, tanto para el sistema de escape original, así como también para los sistemas de escape con configuración 4-1 y 4-2-1.

#### 5.1. Resultados de Potencia máxima a partir de la simulación 1D

Una vez realizada la simulación 1D en el software OpenWAM se obtuvieron los siguientes resultados de potencia máxima a un régimen de 5200 rpm. Se muestran en el grafico 4.1.



**Gráfico 1-5:** Resultados de potencia máxima del vehículo Chevrolet 1300 cc a un régimen de 5200 rpm.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

Como se puede observar en la gráfica 4-3, el prototipo más eficiente es el múltiple de escape con configuración 4-2-1, prototipo C, cuyas dimensiones se realizaron mediante las correlaciones de Gillieri, este prototipo de colector de escape nos da un resultado de 80.59 hp en potencia, un incremento bastante significativo del 6.06% en comparación al original, pero poco práctico para su adaptación al vehículo, al intentar la implementación nos topamos que las uniones de los ductos reducían el espacio del vehículo con el suelo en un 50% dificultando así la movilidad por carreteras de segundo orden teniendo en cuenta que un golpe podría afectar todo el sistema.

Por otro lado el colector con configuración 4-2-1, prototipo D, con longitudes propuestas se lo determino de manera que se adapte al ensamblaje del vehículo para que no presentase inconvenientes, este prototipo nos dio una potencia de 80.04 hp a un régimen de 5200 rpm que, si lo comparamos con el prototipo C, la diferencia es de un 0.68%, algo que no es muy relevante, es por ello que entre los dos prototipos de configuración 4-2-1 expuestos escogeríamos el prototipo D que aunque presenta un 0,68% menos de potencia en relación al prototipo C, este se adapta muy bien al vehículo sin presentar inconvenientes en su montaje.

Analizando el prototipo A, del colector de escape con configuración 4-1 con medidas determinadas según correlaciones de Guilleri nos da una potencia de 78.69 hp a un régimen de 5200 rpm, un poco menor a los prototipos C y D, determinado que la configuración 4-1 de múltiple de escape para este tipo de vehículo es de menor eficiencia que el múltiple de configuración 4-2-1.

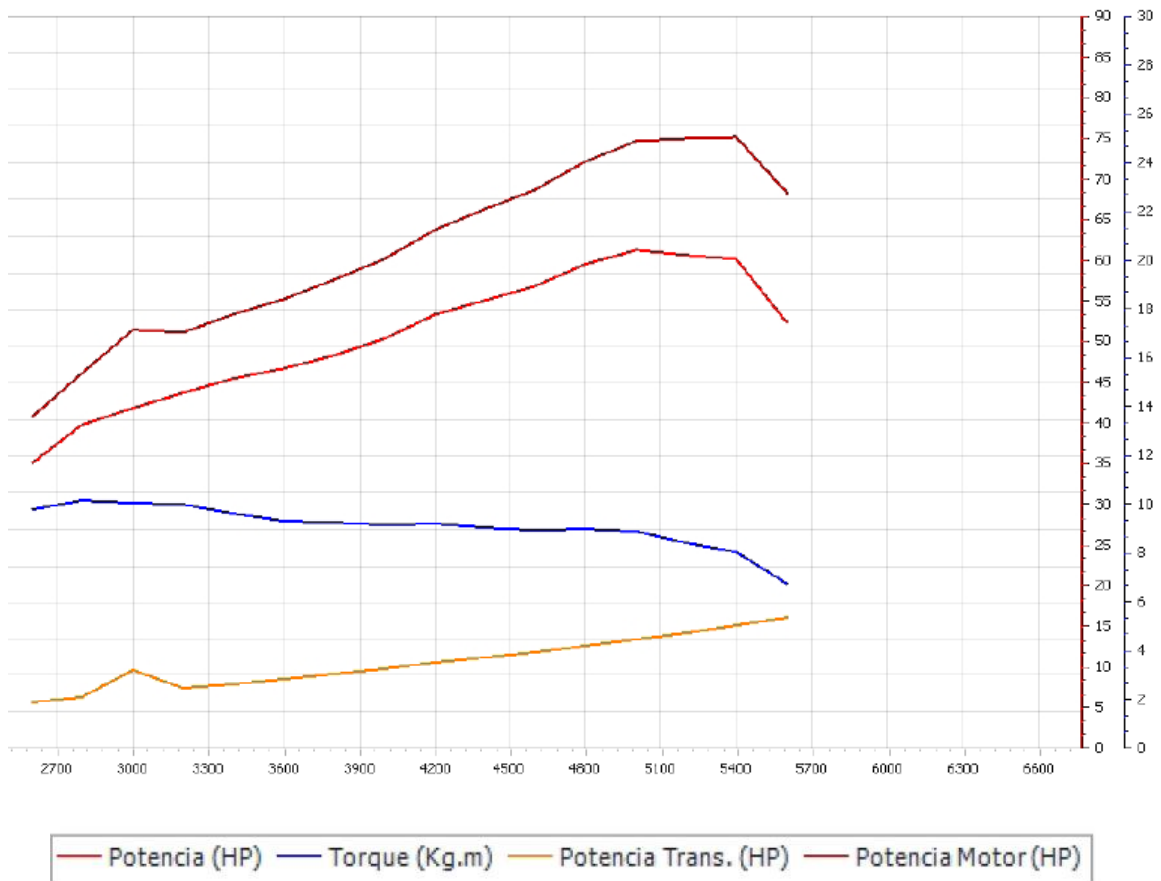
Analizando el prototipo B de configuración 4-1 con medidas propuestas adaptadas al vehículo se determina que posee similar eficiencia a la de todos los prototipos expuestos presentando como resultado una potencia de 78.10 hp a un régimen de 5200 rpm con un incremento del 2.79% en comparación al múltiple original. Sin embargo, al tener que elegir entre el prototipo A y B para la manufactura nos quedaríamos con el prototipo B de igual manera por la facilidad de adaptación en el vehículo.

## **5.2. Pruebas dinamométricas. Colector de escape original.**

Una vez que se comprobó el correcto funcionamiento del vehículo, se realizó las respectivas pruebas de torque y potencia en un dinamómetro de rodillos, para poder obtener una media aritmética se realizó tres pruebas con los siguientes resultados:

### **5.2.1. Ensayo N. 1. Colector de escape original**

En el ensayo número uno realizado en el dinamómetro de rodillos se obtuvo como resultado una tabla de datos en las que se mostraba el torque y la potencia en diferentes regímenes del vehículo, realizando el respectivo análisis de los datos se obtuvo la siguiente grafica de torque, potencia vs RPM:



**Gráfico 2-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo 1, colector de escape original

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

En la que se pudo determinar lo siguiente:

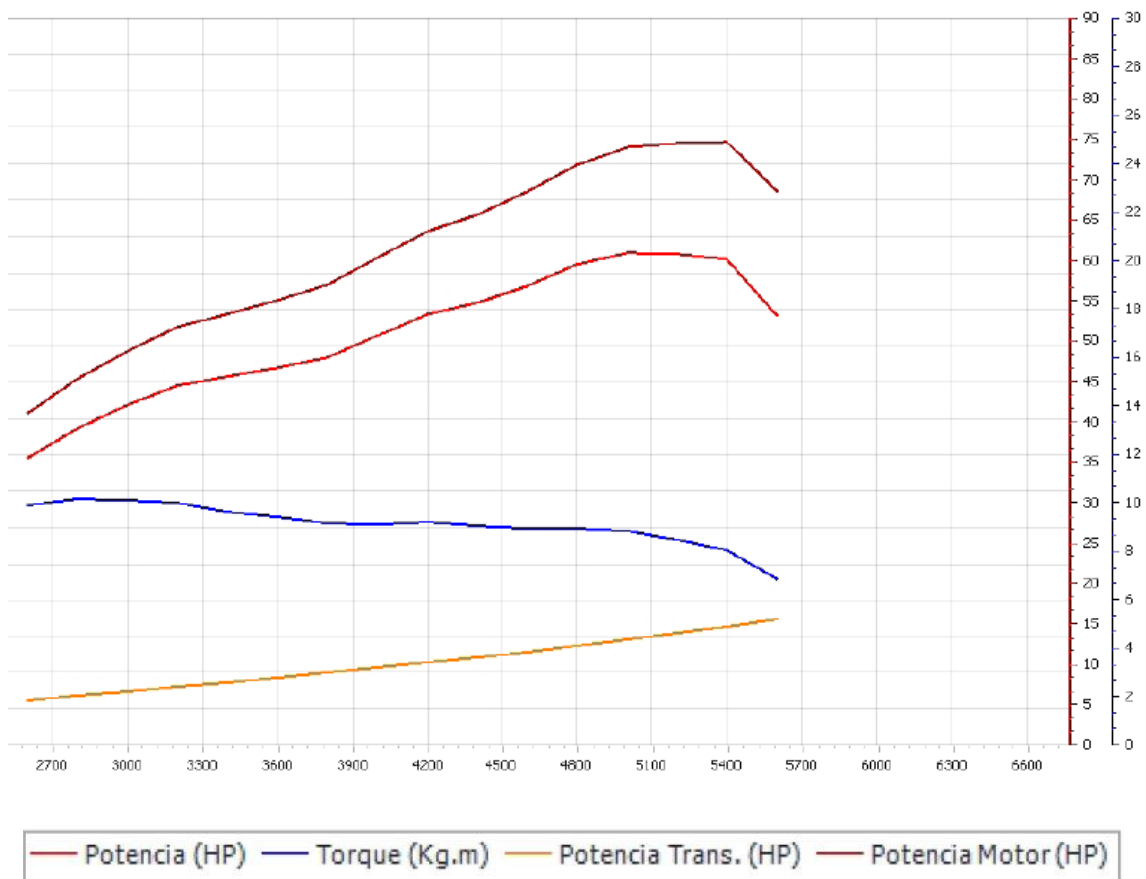
**Tabla 1-5:** Resultados ensayo N.1.Sistema de escape original

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia (HP)</b>	5000	61	60
<b>Torque (Kg*m)</b>	2800	10,2	8
<b>Potencia Transmisión (HP)</b>	5600	16	15,1
<b>Potencia Motor (HP)</b>	5400	75,2	75,2

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

**5.2.2. Ensayo N. 2. Colector de escape original**

Al igual que en el primer ensayo realizado se obtuvo una tabla de datos en las que se reflejaba las prestaciones del vehículo en función a sus rpm, así mismo se realizó la gráfica de torque y potencia para la facilidad del análisis de los datos:



**Gráfico 3-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo 2, colector de escape original

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

En la que se pudo determinar lo siguiente:

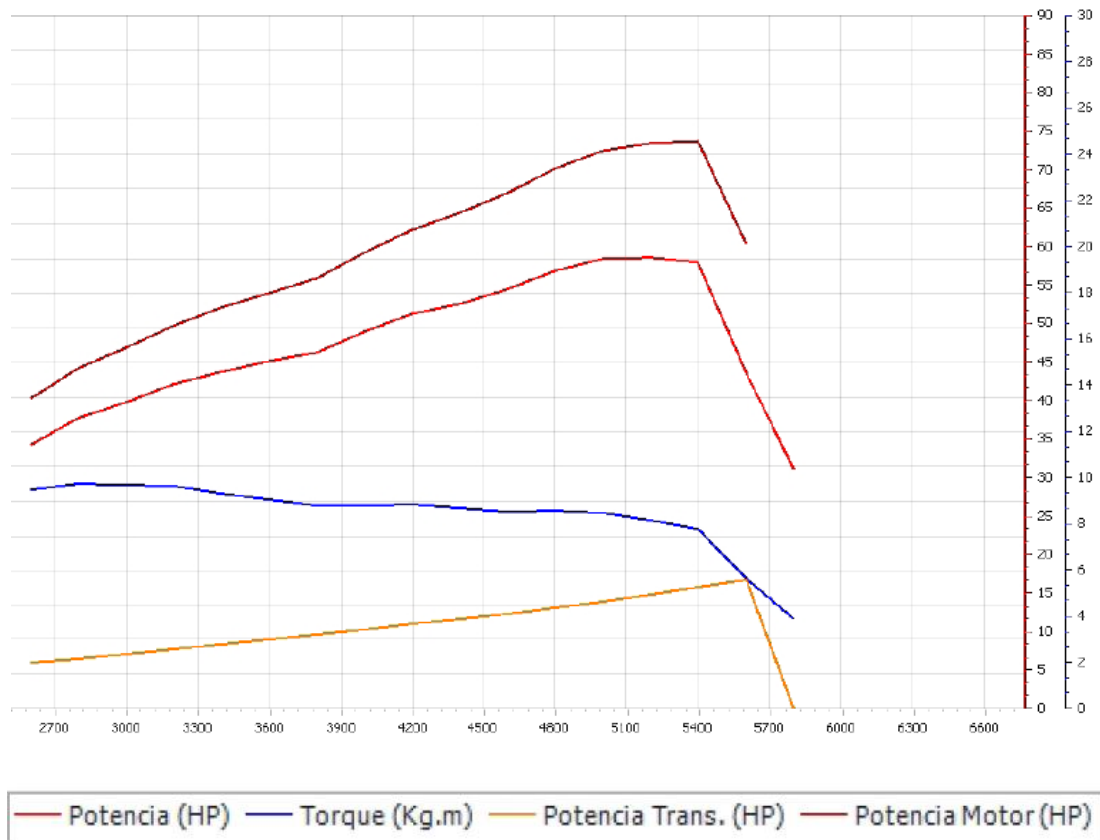
**Tabla 2-5:** Resultados ensayo N.2. Sistema de escape original

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia (HP)</b>	5000	61	60
<b>Torque (Kg*m)</b>	2800	10,2	8,1
<b>Potencia Transmisión (HP)</b>	5600	15,6	14,6
<b>Potencia Motor (hp)</b>	5400	74,7	74,7

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

### 5.2.3. Ensayo N. 3. Colector de escape original

Con el respectivo análisis de los datos obtenidos en el ensayo dinamométrico número tres para la determinación de la línea base de estudio se obtuvo la siguiente gráfica torque, potencia vs RPM:



**Gráfico 5-4:** Torque, potencia vs RPM, ensayo 3, colector de escape original

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

En la que se pudo determinar lo siguiente:

**Tabla 3-5:** Ensayo N. 3. Colector de escape original

<b>Var.</b>	<b>RPM</b>	<b>Max.</b>	<b>Promedio</b>
<b>Potencia (HP)</b>	5200	59	58
<b>Torque (Kg*m)</b>	2800	9,7	7,8
<b>Potencia Transmisión (HP)</b>	5600	16,8	15,8
<b>Potencia Motor (HP)</b>	5400	73,8	73,8

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

Una vez que se realizó el respectivo análisis de las tres pruebas dinamométricas se procedió a hallar una media aritmética para disminuir el error de los ensayos obteniendo lo siguiente:

**Tabla 5-4:** Pruebas dinamométricas. Sistema de escape original

<b>Var.</b>	<b>RPM</b>	<b>Max.</b>	<b>Promedio</b>
<b>Potencia</b>	5067	60,33	59,33
<b>Torque</b>	2800	10,03	7,97
<b>Potencia Transmisión</b>	5600	16,13	15,17
<b>Potencia Motor</b>	5400	74,57	74,57

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

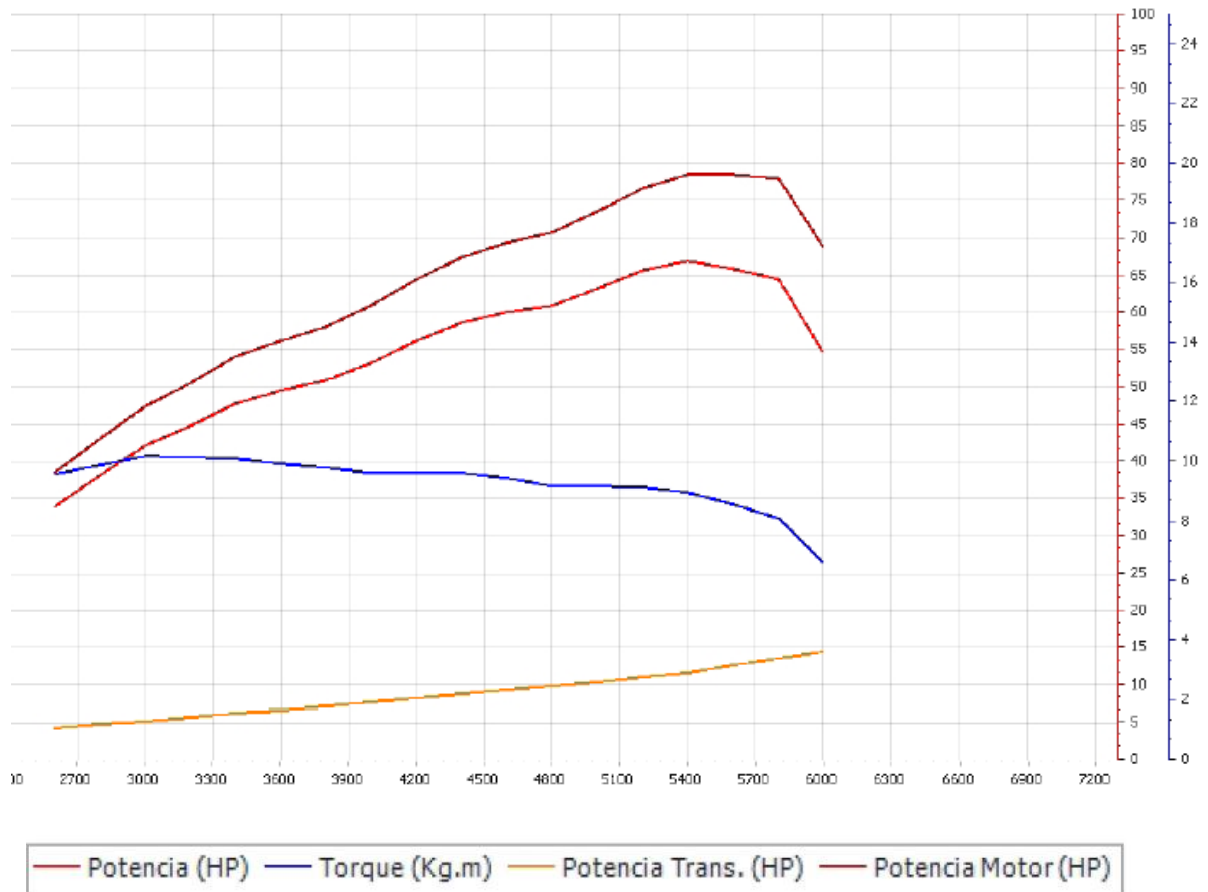
Con la información obtenida se pudo determinar que la potencia máxima del vehículo es de 74.57 Hp a un régimen de 5400 revoluciones, siendo la misma que nos servirá para comparar los resultados obtenidos.

### **5.3. Pruebas dinamométricas. Colector de escape 4-1**

Una vez instalado el nuevo múltiple de escape con configuración 4-1, se llevó el vehículo al dinamómetro para analizar el comportamiento que este presenta con dicha modificación, el procedimiento fue el mismo que se utilizó en las pruebas realizadas en la primera etapa, de igual forma se le realizó 3 pruebas obteniendo lo siguiente:

#### **5.3.1. Ensayo N. 1. Colector de escape 4-1**

Con el respectivo análisis de los datos obtenidos en el ensayo dinamométrico número uno después de la implementación del colector de escape con configuración 4-1 se obtuvo la siguiente gráfica torque, potencia vs RPM:



**Gráfico 5-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 1- múltiple de escape con configuración 4-1.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

Del gráfico 5-4 se pudo determinar lo siguiente:

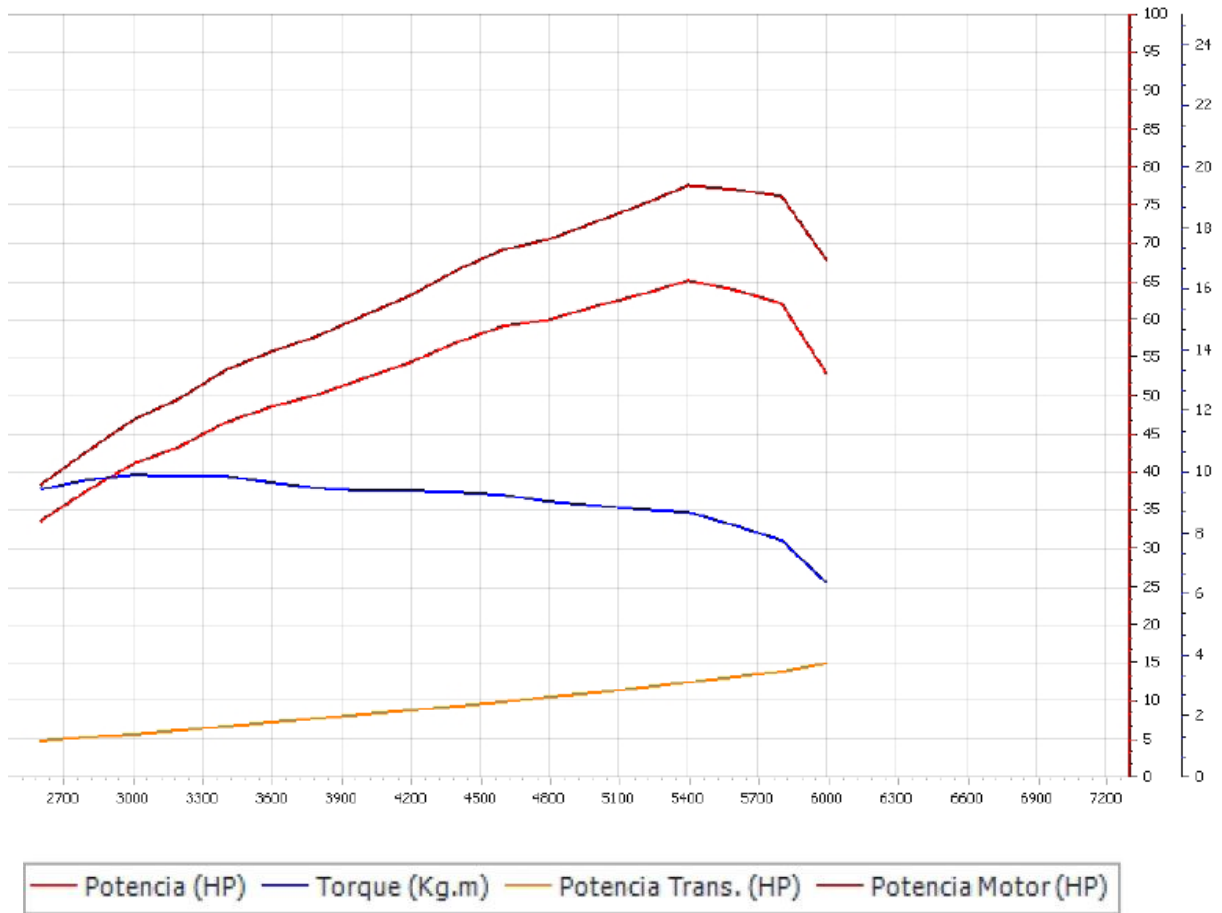
**Tabla 5-5:** Ensayo N. 1. Colector de escape, configuración 4-1

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia</b>	5400	67	67
<b>Torque</b>	3000	10,2	8,9
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	14,3	11,6
<b>Potencia Motor</b>	5600	78,5	78,4

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

### 5.3.2. Ensayo N. 2. Colector de escape 4-1

En el ensayo número dos, realizado en el dinamómetro con el colector de configuración 4-1 se obtuvo una tabla de valores que a su vez realizando el respectivo análisis se obtuvo la siguiente grafica torque, potencia vs RPM:



**Gráfico 6-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo 2, colector de escape original

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

De la gráfica 6-4 se pudo determinar lo siguiente:

**Tabla 6-5:** Ensayo N. 2. Colector de escape, configuración 4-1

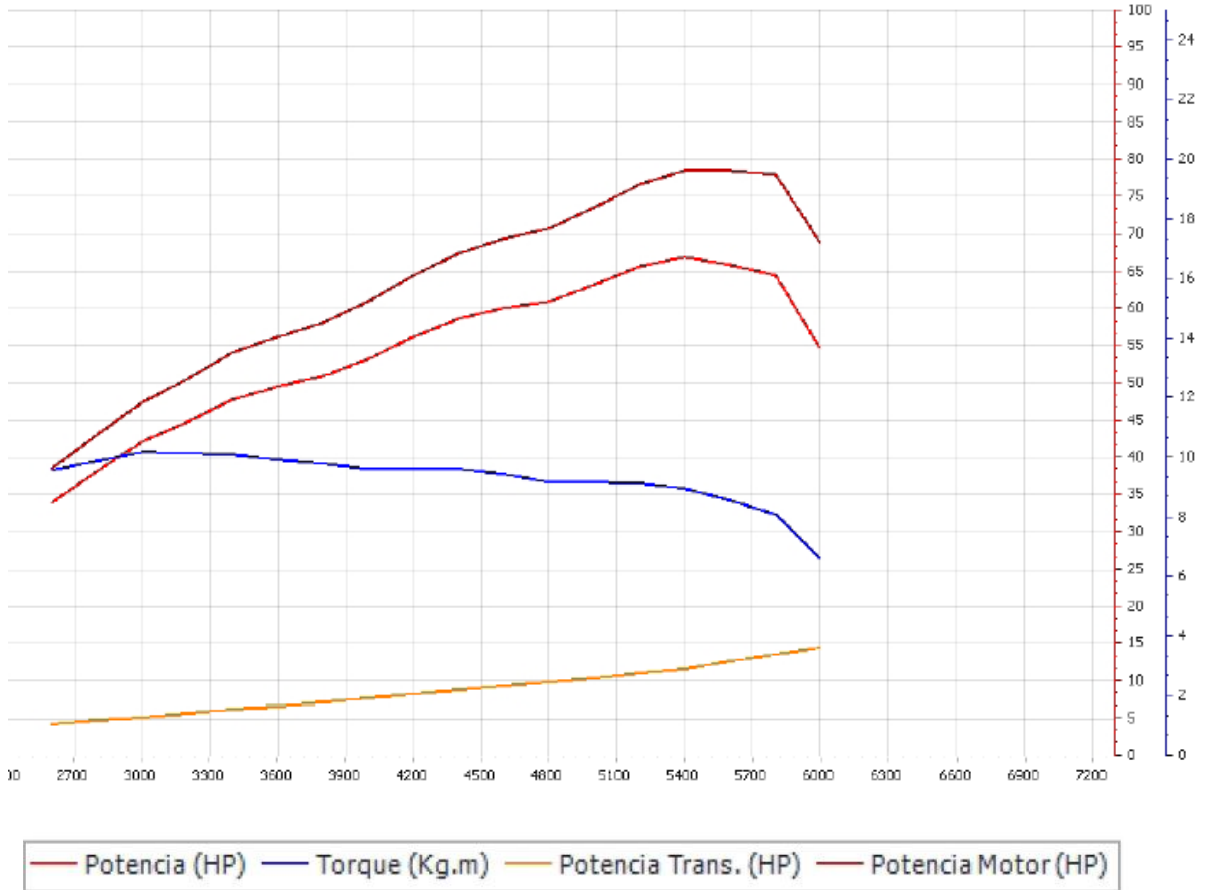
Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia</b>	5400	65	65
<b>Torque</b>	3000	9,9	8,7
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	14,9	12,4
<b>Potencia Motor</b>	5600	77,5	77,5

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.



**5.3.3. Ensayo N. 3. Colector de escape 4-1**

Con el respectivo análisis de los datos obtenidos en el ensayo dinamométrico número tres para la validación de resultados se obtuvo la siguiente gráfica torque, potencia vs RPM:



**Gráfico 7-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo 2, colector de escape original

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

De la gráfica 7-4 se pudo determinar lo siguiente:

**Tabla 7-5:** Ensayo N. 3. Colector de escape, configuración 4-1

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia</b>	5400	67	67
<b>Torque</b>	3000	10,2	8,9
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	14,3	11,6
<b>Potencia Motor</b>	5600	78,5	78,4

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

De igual manera se procede a calcular la media aritmética, con los valores obtenidos en las tres pruebas que nos servirán para la validación de resultados de la simulación hecha con el colector de configuración 4-1 se realizó una media aritmética en la que se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 8-5:** Pruebas dinamométricas. Sistema de escape, configuración 4-1

<b>Var.</b>	<b>RPM</b>	<b>Max.</b>	<b>Promedio</b>
<b>Potencia</b>	5400	65,67	65,67
<b>Torque</b>	3000	10,00	8,77
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	14,70	12,13
<b>Potencia Motor</b>	5600	77,83	77,80

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

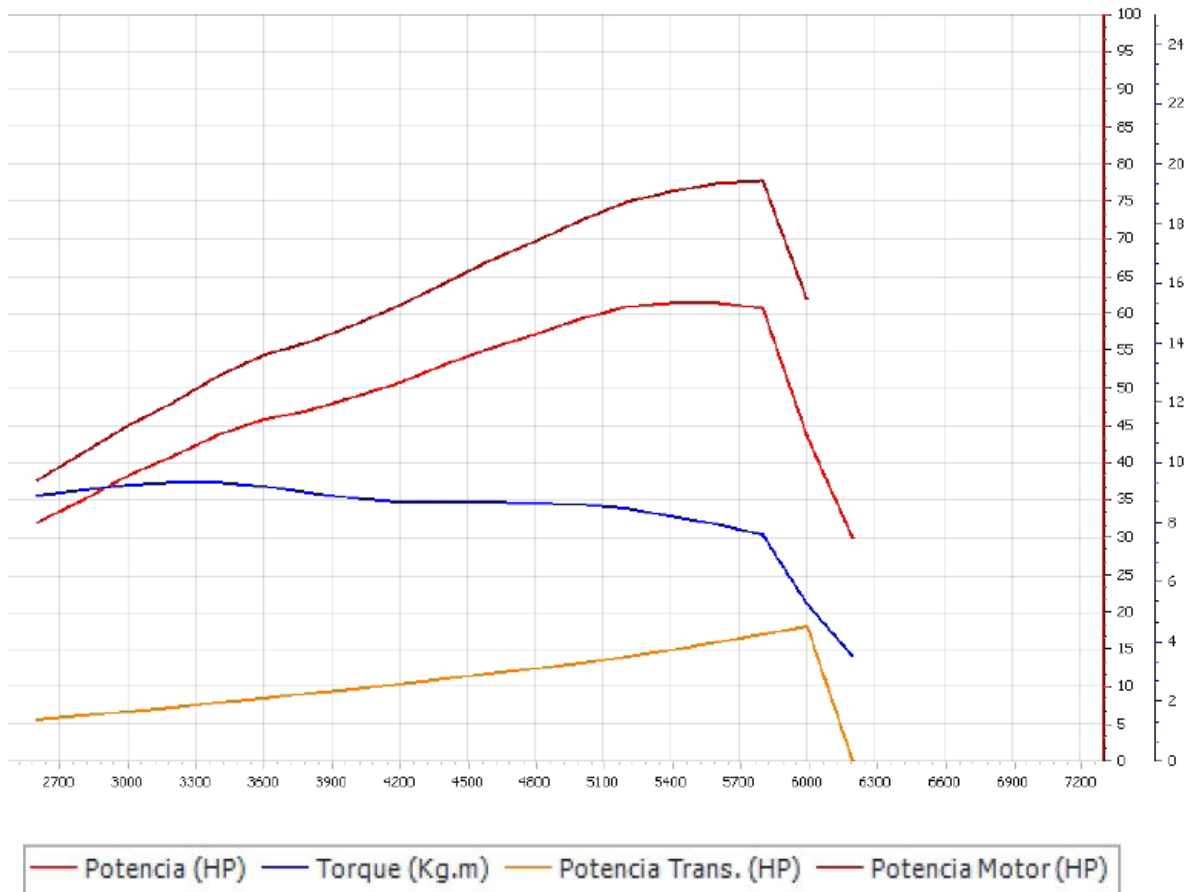
Las prestaciones del vehículo subieron a 77.83 hp a 5600 rpm.

#### **4.4. Pruebas dinamométricas. Colector de escape 4-2-1**

Una vez instalado el nuevo múltiple de escape con configuración 4-2-1, se llevó el vehículo al dinamómetro para analizar el comportamiento que este presenta con dicha modificación, el procedimiento fue el mismo que se utilizó en las pruebas realizadas en la primera etapa, de igual forma se le realizó 3 pruebas obteniendo lo siguiente:

##### **4.4.1. Ensayo N. 1. Colector de escape 4-2-1**

Una vez analizados los datos de las tablas generados por el dinamómetro se obtuvo la siguiente grafica torque, potencia vs RPM:



**Gráfico 8-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 1- múltiple de escape con configuración 4-2-1.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

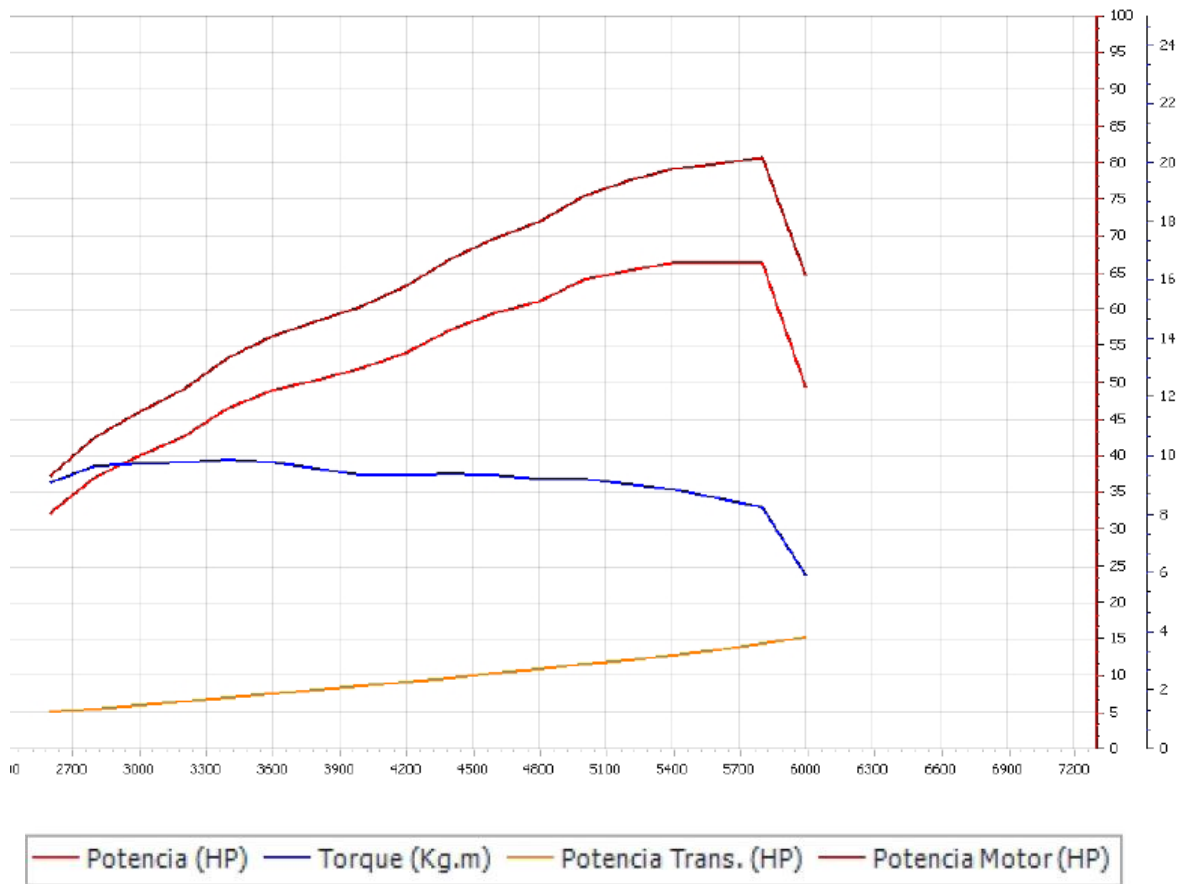
De la gráfica 8-4 se pudo determinar lo siguiente:

**Tabla 9-5:** Ensayo N. 1. Colector de escape, configuración 4-2-1

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia</b>	5200	61	61
<b>Torque</b>	3200	9,4	8,2
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	18,1	15
<b>Potencia Motor</b>	5800	77,8	76,3

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

#### 4.4.2. Ensayo N. 2. Colector de escape 4-2-1



**Gráfico 9-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 2- múltiple de escape con configuración 4-2-1.

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

De la gráfica 9-4 se pudo determinar lo siguiente:

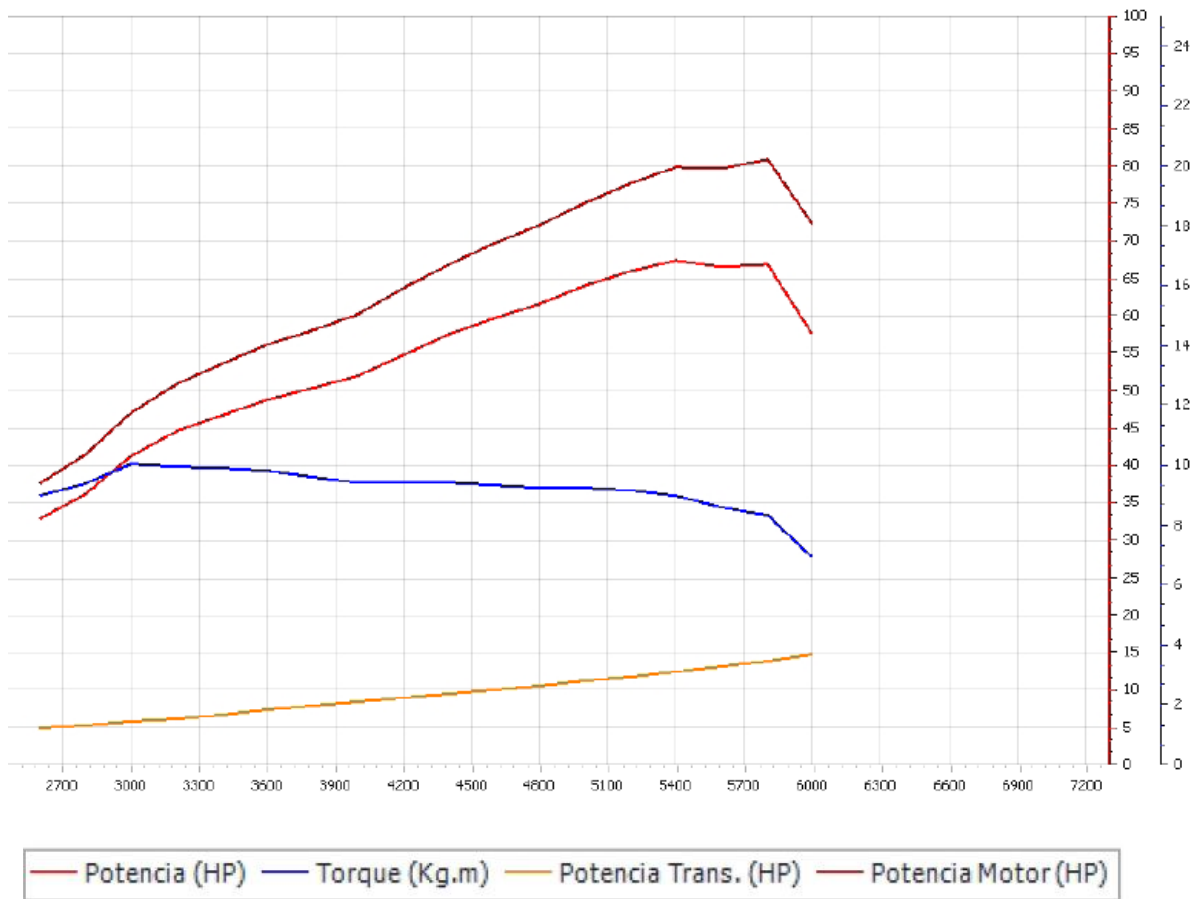
**Tabla 10-5:** Ensayo N. 2. Colector de escape, configuración 4-2-1

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia</b>	5400	66	66
<b>Torque</b>	3400	9,9	8,9
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	15,3	12,8
<b>Potencia Motor</b>	5800	80,7	79,2

Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

#### 4.4.3. Ensayo N. 3. Colector de escape 4-2-1

Grafica torque, potencia vs RPM



**Gráfico 10-5:** Torque, potencia vs RPM, ensayo dinamométrico 3- múltiple de escape con configuración 4-2-1.

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

De la gráfica se pudo determinar lo siguiente:

**Tabla 11-5:** Ensayo N. 3. Colector de escape, configuración 4-2-1

Var.	RPM	Max.	Promedio
<b>Potencia</b>	5400	67	67
<b>Torque</b>	3000	10	9
<b>Potencia Transmisión</b>	6000	14,8	12,4
<b>Potencia Motor</b>	5800	80,8	79,7

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

De igual manera se procede a calcular la media aritmética, con los valores obtenidos en las tres pruebas que nos servirán para la validación de resultados de la simulación hecha con el colector de configuración 4-2-1 se realizó una media aritmética en la que se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 12-5:** Pruebas dinamométricas. Sistema de escape, configuración 4-2-1

Var.	RPM	Max.	Promedio
Potencia	5333	64,67	64,67
Torque	3200	9,77	8,70
Potencia Transmisión	6000	16,07	13,40
Potencia Motor	5800	79,77	78,40

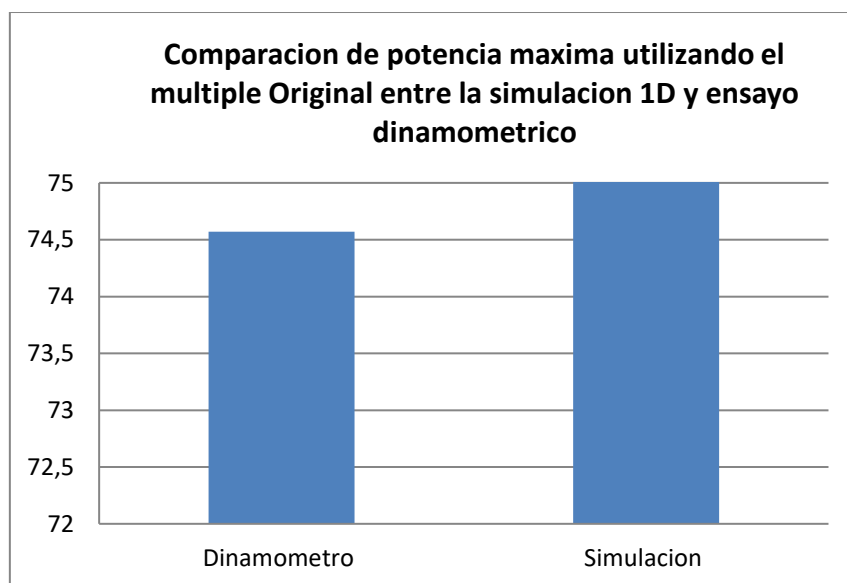
Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

#### 4.5. Análisis Comparativo

##### 4.5.1. Comparación de datos entre la simulación 1D y la validación en el dinamómetro

###### 4.5.1.1. Múltiple de escape original

Con la ayuda de la simulación 1D pudimos obtener las prestaciones que tenía el vehículo con el múltiple de escape original, a su vez se realizó unas pruebas dinamométricas para establecer la línea base de estudio, con estos dos valores realizaremos una comparación para efectuar la precisión del software.



**Gráfico 11-5:** comparación de potencia máxima obtenida de la simulación y la validación del múltiple de escape original

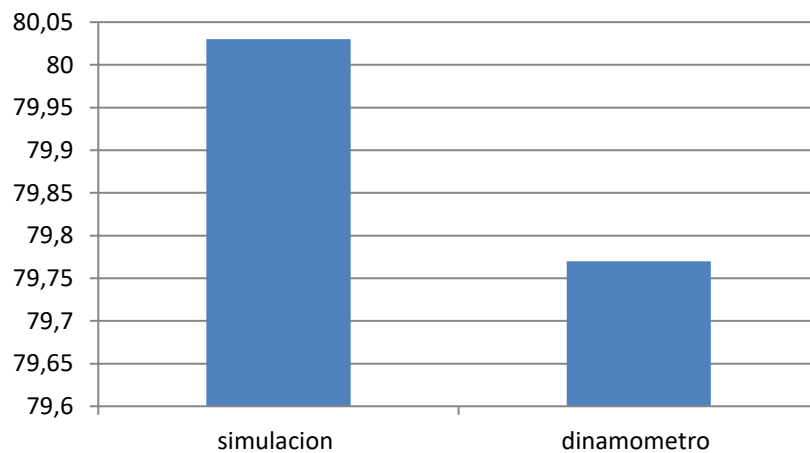
Realizado: Salas J; Obando, S, 2021.

Como se observa en el gráfico 11-4 el valor de la potencia máxima que presentó el vehículo en las pruebas dinamométricas es menor a la de la simulación en un 1.89 %, debido a que el programa ubica las cañerías de forma recta sin tomar en cuenta las curvaturas que presenta al momento de la adaptación al vehículo presentando mayor rozamiento entre el gas y las paredes además de formar ondas de presión inversas que dificultan la salida de los gases.

#### 4.5.2. *Multiple configuracion 4-2-1 prototipo D*

Como se puede observar en la figura 4-4 los resultados obtenidos de potencia en el dinamómetro con el prototipo D de configuración 4-2-1 es menor en un 0.32 % que de los valores obtenidos en la simulación 1D. Un error aceptable tomando en cuenta que el software no tiene presente el proceso de elaboración del múltiple, como este caso se lo realizó mediante el doblado de tubos se debería tomar en cuenta que en cada doble existe un estrechamiento del área lo que generara mayor rozamiento entre los gases y las paredes de los ductos.

**Comparacion de potencia maxima utilizando el prototipo D entre la simulacion 1D y ensayo dinamometrico**



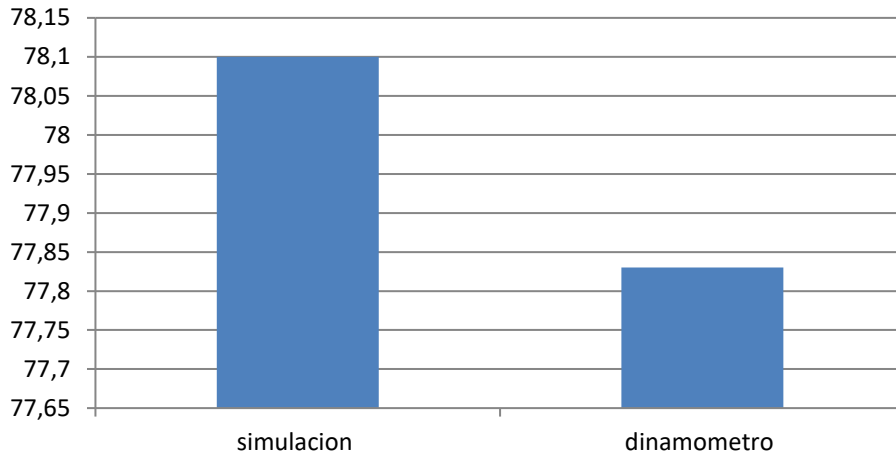
**Gráfico 12-5:** Comparación de potencia máxima obtenida de la simulación y la validación del prototipo D

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

#### 4.5.3. *Multiple configuracion 4-1 prototipo B*

Como se puede observar en la figura 4-5 los resultados obtenidos de potencia en el dinamómetro con el prototipo B de configuración 4-1 es menor en un 0.34 % que de los valores obtenidos en la simulación 1D.

**Comparacion de potencia maxima utilizando el prototipo B entre la simulacion 1D y ensayo dinamometrico**



**Gráfico 13-5:** Comparación de potencia máxima obtenida de la simulación y la validación del prototipo B

**Realizado:** Salas J; Obando, S, 2021.

Para la simulación se trató de utilizar los datos mayormente reales como la temperatura de entrada de aire, la presión atmosférica, poder calorífico del combustible, valores exactos de ángulos de apertura y cierre de válvulas, etc. Es por ello que el error presente del software en este caso determinando una media de los errores en las tres simulaciones nos dio de 0.85% excediendo el valor producido en el dinamómetro.



## CONCLUSIONES

- Se determinó las prestaciones de torque y potencia iniciales que poseía el vehículo Chevrolet corsa 1300cc en un dinamómetro de rodillos para establecer una línea base de estudio mediante tres pruebas de las mismas que se realizó una media aritmética determinando que la potencia máxima del motor fue de 74.57 hp a un régimen de 5400rpm y un torque máximo de 10.03 kg\*m a un régimen de 2800 rpm.
- Del análisis realizado en la simulación 1D evaluando la variación de dimensiones en las configuraciones de múltiples de escape 4-1 y 4-2-1, se seleccionó dos diseños para su validación, uno de configuración 4-1 al que se lo denominó prototipo D, con tubos de 3 cm de diámetro interno con 108 cm de longitud para los ductos principales y tubos de 4 cm de diámetro con una longitud de 102 cm para los ductos secundarios, puesto que permite alcanzar valores de potencia elevados en los regímenes de revoluciones altos, y otro de configuración 4-2-1 al que se lo denominó prototipo B, con tubos de 3 cm de diámetro con longitud de 42 cm para los ductos primarios, tubos de 4 cm de diámetro con longitud de 66 cm para los ductos secundarios y para los ductos terciarios se utilizó tubos de 4 cm de diámetro con longitud de 102 cm, permitiéndonos así alcanzar un aumento considerable de potencia en el vehículo.
- En la validación de resultados en el dinamómetro, con el múltiple de configuración 4-1 prototipo B se obtuvo luego de tres ensayos y determinar una media aritmética una potencia máxima de 77.80 hp a un régimen de 5600 rpm que al compararlo con los resultados obtenidos con el múltiple de escape original representan una ganancia del 4.73 %, un resultado muy favorable. En el caso del torque no se pudo observar mayor variación ya que se obtuvo un resultado de 10 kg\*m a un régimen de 3000 rpm un valor bastante cercano al resultado que se obtuvo con el múltiple original que fue de 10.03 kg\*m a un régimen de 2800 rpm.
- Los resultados más favorables que se obtuvieron fue con el prototipo D de configuración 4-2-1, después de realizar los respectivos ensayos en el dinamómetro y realizar una media aritmética se determinó una potencia máxima de 79.77 hp a un régimen de 5800 rpm que, al compararlo con los resultados obtenidos utilizando el múltiple original representa una ganancia del 6.97 %, el torque no se vio afectado notoriamente ya que se obtuvo un valor de 9.77 kg\*m un valor muy cercano al del múltiple original. Con dichos resultados se puede afirmar que se ha tenido éxito en el proyecto ya que se logró optimizar las prestaciones del vehículo con una modificación en la cual se buscó la manera de no sobredimensionar la pieza asegurando su máximo beneficio con la ayuda de la simulación 1D.
- Para la simulación 1D en la entrada de datos se utilizó en su mayoría datos reales que se obtuvieron de la ECU del vehículo mediante un escáner para minimizar en lo posible el error

que se podía generar, sin embargo pudimos determinar que el software para la simulación no toma en cuenta los ángulos de curvatura que pueden tomar los ductos de escape y el método de fabricación, dos factores muy importantes ya que en nuestro caso utilizamos el método de doblado de tubos los mismos que en cada ángulo de dobles existe un estrechamiento del área de la sección, la misma que produce rozamiento entre el gas y las paredes además de formar ondas de presión inversas que dificultan la salida de los gases, sin embargo al comparar los resultados de la simulación con la validación de datos se determinó un error de apenas 0.85%, un valor bastante aceptable, siendo así la simulación 1D un proceso clave para este proyecto.

## RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta los datos originales del vehículo al momento de realizar la simulación 1D para una mejor prestación del software de análisis.
- Realizar un correcto calculo para el diseño y la fabricación adecuada de cada uno de los múltiples de escape.
- Realizar la construcción de cada uno de los múltiples por el método de doblado de tubos ya que, por el método de soldadura, sea por el esfuerzo y temperatura puede presentar averías muy tempranas.
- Tener las herramientas y equipos adecuados para el montaje y desmontaje de cada uno de los múltiples para cada una de las pruebas dinamométricas
- Optar por todas las medidas de seguridad al momento de realizar el ensayo dentro de la cabina del dinamómetro.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACTUALIDAD MOTOR.** *Funcionamiento de los silenciadores.* [blog]. 2018. [Consulta: 03 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-de-los-silenciadores/>.

**ALMEIDA, G.** Evaluación del flujo de escape del múltiple del MCI en vehículos SUV con materiales no tradicionales. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. 2012.

**AQUINUVE.** *Preparación de motore* [blog]. 2018. [Consulta: 06 de mayo 2021]. Disponible en: <https://aquinuve.es/preparacion-de-motores-4t/>.

**ARROYO TERÁN, Edwin Salomón.** Optimización del múltiple de escape para un vehículo de competición con motor de combustión interna de cuatro tiempos y cuatro cilindros. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. 2017.

**AUTOFACIL. 2014.** *Catalizadores de coches.* [blog]. 2017. [Consulta: 06 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.autofacil.es/tecnica/sirve-catalizador-coche/188310.html>

**BORJA, G.** *Diferencias entre colectores de escape.* [blog]. 2018. [Consulta: 06 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.momentogp.com/diferencias-entre-colectores-de-escape/>.

**BOTTA, Diego & BRUSCONI, Martín.** Efecto de la relación biela-manivela en el comportamiento del motor de ciclo Otto. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad de la Plata, Buenos Aires, Argentina. 2011.

**CALLE , Eloy & RIVAS, Dorian.** Diseño y construcción de un múltiple de escape para un motor YAMAHA FZR600 de fórmula SAE. . (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2014.

**CARMONA, Anibal.** Ingeniería y diseño de un banco de pruebas didáctico para un motor a combustión interna. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Tecnológica Nacional, Montevideo, Uruguay. 2018.

**DÍAZ , J.** Cálculo y diseño de un sistema de escape para un motor de Formula Student. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España. 2017.

**DOMINGO, A.** *Apuntes de los temas de Termodinámica.* 2015.

**EL MANUAL DE EDUARDO.** *Curva torque potencia.* [blog]. 2018. [Consulta: 06 de mayo 2021]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/manualdeduardo/Home/torque-y-potencia>.

**ERAZO CERÓN, David Aníbal & VITERI MOSQUERA, Alejandro Sebastián.** Análisis termodinámico de los parámetros indicados de un motor de ciclo otto aspiración natural con sistema de inyección electrónica en función de la altitud sobre el nivel del mar. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2017.

**FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO.** *Reglamento Karting.* [En línea] 2019. [Citado el: 13 de Agosto de 2021.] <http://fedak.com.ec/index.php/estatutos-y-reglamentos/reglamento-karting-2019>.

**GILLIERI, S.** *Preparación de Motores de Serie para Competición.* Barcelona- España. 2007.

**GUAMÁN, E; et al.** Parámetros del Múltiple de Escape para su Diseño Computacional: una revisión. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. 2014.

**IBARRA, M.** *Manual de Motores de Combustión Interna.* 2010.

**KS ENGINEERS.** *Dinamómetros.* [blog]. 2021. [Consulta: 21 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.ksengineers.at/en/Automotive-Testing/Testing-equipment/Chassis-dynamometers>

**MARÍN , Daniela y TORO, Miguel.** 2018. Caracterización de las curvas de presión, par y potencia de un motor de combustión interna monocilíndrico bajo diferentes regímenes de operación. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2018.

**MANTILLA, J; et al.** *Ingeniería e Investigación,* Bogotá, Colombia. 2020

**MARTINEZ, A.** *Motores de Combustión Interna,* 2007.

**MORALES, Mercedes & Hernández Rafael.** Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. 2008.

**MUNDO MOTOR.** *Multiple de escape.* [blog]. 2017. [Consulta: 16 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.mundodelmotor.net/multiple-de-escape/#:~:text=El%20m%C3%BAltiple%20de%20escape%20de,un%20solo%20tubo%20de%20escape.&text=La%20gran%20mayor%C3%ADa%20de%20los,un%20solo%20multiple%20de%20escape..>

**ORTEGA, Washington.** Diseño y construcción de un múltiple de admisión para motor de combustión interna. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. 2019.

**QUIROZ, Walter.** Diseño, análisis y construcción de un múltiple de admisión para un vehículo de competencia de pista Chevrolet Forsa 1.3. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. 2018.

**RUIZ, L.** *Ciclos teóricos y reales de los motores de combustión interna.* Bogotá, Colombia 2012.

**REA CABEZAS, Francisca Ana.** Análisis del flujo de aire en el múltiple. (Trabajo de titulación) (Pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Riobamba, Ecuador. 2011.

## ANEXOS

### ANEXO A: Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 1. Colector de escape original

#### Chevrolet Corsa 1.3

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	35	40,8	5,7	9,8
2800	40	46,1	6,3	10,2
3000	42	51,4	9,6	10,1
3200	44	51,4	7,4	10
3400	45	53,4	8	9,7
3600	47	55,3	8,6	9,3
3800	48	57,6	9,2	9,2
4000	50	60,2	9,8	9,2
4200	53	63,8	10,5	9,2
4400	55	66,3	11,2	9,1
4600	57	68,7	11,9	8,9
4800	59	72,1	12,7	9
5000	61	74,6	13,4	8,9
5200	61	74,9	14,2	8,4
<b>5400</b>	<b>60</b>	<b>75,2</b>	<b>15,1</b>	<b>8</b>
5600	52	68,3	16	6,8
5800	28	28,4	0	3,6
Promedio	47	57,3	10,4	6,1

**ANEXO B:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 2. Colector de escape original

Chevrolet Corsa 1.3

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia Transmisión	Torque Kg*m
2600	36	41,1	5,6	9,9
2800	39	45,3	6,1	10,2
3000	42	48,9	6,7	10,1
3200	45	51,7	7,2	10
3400	46	53,4	7,8	9,7
3600	47	55,1	8,4	9,4
3800	48	57,1	9	9,2
4000	51	60,3	9,6	9,1
4200	53	63,7	10,2	9,2
4400	55	65,7	10,9	9,1
4600	57	68,5	11,6	8,9
4800	59	71,8	12,3	8,9
5000	61	74	13,1	8,8
5200	61	74,6	13,8	8,5
5400	60	74,7	14,6	8,1
5600	53	68,6	15,6	6,9
5800	29	28,6	0	3,6
Promedio	47	57,3	10,1	6,2



**ANEXO C:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 3. Colector de escape original

Chevrolet Corsa 1.3

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	34	40,3	5,9	9,4
2800	38	44,2	6,5	9,7
3000	40	46,9	7,1	9,7
3200	42	49,8	7,7	9,6
3400	44	52,1	8,3	9,3
3600	45	54	8,9	9
3800	46	55,9	9,6	8,8
4000	49	59,3	10,3	8,8
4200	51	62,3	11	8,8
4400	53	64,3	11,7	8,7
4600	54	66,9	12,4	8,6
4800	57	70	13,2	8,6
5000	58	72,4	14	8,5
5200	59	73,4	14,8	8,2
5400	58	73,8	15,8	7,8
5600	44	60,4	16,8	5,6
5800	31	31,1	0	3,9
Promedio	44	55,1	10,9	5,8

**ANEXO D:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 1. Colector de escape 4-1.

Chevrolet Corsa 1.3

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	34	38,4	4,5	9,6
2800	38	42,9	4,9	9,9
3000	42	47,3	5,3	10,2
3200	45	50,5	5,8	10,1
3400	48	54	6,3	10,1
3600	49	56,1	6,7	9,9
3800	51	58,1	7,2	9,8
4000	53	61	7,7	9,6
4200	56	64,4	8,3	9,6
4400	59	67,3	8,8	9,6
4600	60	69,3	9,3	9,4
4800	61	70,7	9,8	9,2
5000	63	73,6	10,4	9,2
5200	66	76,6	11	9,1
5400	67	78,4	11,6	8,9
5600	66	78,5	12,6	8,5
5800	64	77,8	13,5	8,1
6000	55	69,9	14,3	6,6
6200	27	26,7	0	3,1
Promedio	56	66,1	10,4	7

**ANEXO E:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 2. Colector de escape 4-1.

Chevrolet Corsa 1.3

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	34	38,3	4,8	9,4
2800	37	42,7	5,2	9,7
3000	41	46,8	5,7	9,9
3200	43	49,6	6,2	9,9
3400	47	53,3	6,7	9,9
3600	49	55,7	7,2	9,7
3800	50	57,9	7,7	9,5
4000	52	60,5	8,2	9,4
4200	54	63,2	8,8	9,4
4400	57	66,4	9,3	9,4
4600	59	69,1	9,9	9,3
4800	60	70,5	10,5	9
5000	62	72,8	11,1	8,9
5200	63	75	11,7	8,8
5400	65	77,5	12,4	8,7
5600	64	77	13,1	8,3
5800	62	76,1	13,9	7,8
6000	53	67,7	14,9	6,4
6200	27	26,7	0	3,1
Promedio	54	65	10,9	6,9

**ANEXO F:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 3. Colector de escape 4-1.

Chevrolet Corsa 1.3

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	34	38,4	4,5	9,6
2800	38	42,9	4,9	9,9
3000	42	47,3	5,3	10,2
3200	45	50,5	5,8	10,1
3400	48	54	6,3	10,1
3600	49	56,1	6,7	9,9
3800	51	58,1	7,2	9,8
4000	53	61	7,7	9,6
4200	56	64,4	8,3	9,6
4400	59	67,3	8,8	9,6
4600	60	69,3	9,3	9,4
4800	61	70,7	9,8	9,2
5000	63	73,6	10,4	9,2
5200	66	76,6	11	9,1
5400	67	78,4	11,6	8,9
5600	66	78,5	12,6	8,5
5800	64	77,8	13,5	8,1
6000	55	69,9	14,3	6,6
6200	27	26,7	0	3,1
Promedio	56	66,1	10,4	7

**ANEXO G:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 1. Colector de escape 4-2-1.

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	32	37,5	5,6	8,9
2800	35	41,2	6,2	9,1
3000	38	45	6,7	9,3
3200	41	48,1	7,2	9,4
3400	44	51,6	7,8	9,3
3600	46	54,3	8,5	9,2
3800	47	56,2	9,1	9
4000	49	58,5	9,7	8,8
4200	51	61,1	10,3	8,7
4400	53	64,1	11	8,7
4600	55	67	11,7	8,7
4800	57	69,7	12,5	8,6
5000	59	72,5	13,2	8,6
5200	61	74,9	14,1	8,5
5400	61	76,3	15	8,2
5600	61	77,4	16	7,9
5800	61	77,8	17	7,6
6000	44	61,7	18,1	5,3
6200	30	29,9	0	3,5
Promedio	51	64,6	13,2	6,5

**ANEXO H:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 2. Colector de escape 4-2-1.

Ensayo N.

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	32	37,2	5	9,1
2800	37	42,5	5,5	9,7
3000	40	46	6	9,7
3200	43	49,2	6,5	9,8
3400	46	53,4	7	9,9
3600	49	56,4	7,5	9,8
3800	50	58,4	8	9,5
4000	52	60,4	8,5	9,4
4200	54	63,1	9,1	9,3
4400	57	66,9	9,7	9,4
4600	59	69,7	10,3	9,3
4800	61	72	10,9	9,2
5000	64	75,5	11,5	9,2
5200	65	77,5	12,2	9
5400	66	79,2	12,8	8,9
5600	66	79,8	13,6	8,5
5800	66	80,7	14,4	8,3
6000	49	64,6	15,3	5,9
6200	26	25,8	0	3
Promedio	55	66	11,2	6,9

**ANEXO I:** Tabla de valores obtenidos en el dinamómetro ensayo 3. Colector de escape 4-2-1.

Ensayo N.

RPM	Potencia HP	Potencia Motor HP	Potencia transmisión	Torque Kg*m
2600	33	37,6	4,9	9
2800	36	41,3	5,3	9,4
3000	41	47	5,7	10
3200	45	50,8	6,2	10
3400	47	53,5	6,7	9,9
3600	49	56,2	7,4	9,8
3800	50	58,1	7,8	9,6
4000	52	60,3	8,3	9,4
4200	55	63,6	8,9	9,4
4400	58	66,9	9,4	9,4
4600	60	69,6	9,9	9,3
4800	62	72	10,5	9,2
5000	64	75,2	11,2	9,3
5200	66	77,7	11,8	9,2
5400	67	79,7	12,4	9
5600	66	79,6	13,1	8,6
5800	67	80,8	13,9	8,3
6000	57	72,3	14,8	6,9
6200	25	24,8	0	2,9
Promedio	56	67,4	10,8	7,1

# ANEXO J: Planos Construcción

