



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: EFECTO DEL SILENCIADOR DE ESCAPE EN UN MOTOR DE
ENCENDIDO PROVOCADO**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: WILMER ARIEL CARVAJAL CALUGUILLIN
BRYAN SEBASTIÁN YÉPEZ CEVALLOS**

DIRECTOR: EDWIN ARROYO, MSc.

Ibarra, Octubre 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Qué una vez analizado el plan de grado cuyo título es "EFECTO DEL SILENCIADOR DE ESCAPE EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO" presentado por los señores: Carvajal Calaguillin Wilmer Ariel con número de cédula 1726113218 y Yépez Cevallos Bryan Sebastián con número de cédula 1721052445 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 13 días del mes de octubre del 2022.

Atentamente



Ing. Edwin Salomón Arroyo Terán, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172611321-8
APELLIDOS Y NOMBRES:	Carvajal Caluguillin Wilmer Ariel
DIRECCIÓN:	Chiriboga y Isidro Ayora (Parroquia Juan Montalvo) Cayambe
EMAIL:	wacarvajalc@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0990167857

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172105244-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Yépez Cevallos Bryan Sebastián		
DIRECCIÓN:	Miguel Oviedo 7-13 y Simón Bolívar (Parroquia El Sagrario) Ibarra		
EMAIL:	bsyopezc@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062642645	TELÉFONO MÓVIL:	0980078405

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Efecto del silenciador de escape en un motor de encendido provocado
AUTOR (ES):	Carvajal Caluguillin Wilmer Ariel - Yépez Cevallos Bryan Sebastián
FECHA: DD/MM/AAAA	13/10/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Edwin Arroyo MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la

responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 13 días del mes de octubre del 2022

AUTORES:



Wilmer Ariel Carvajal Caluguillin

1726113218



Bryan Sebastián Yépez Cevallos

1721052445

DEDICATORIA

A Dios, al cual a los catorce años lo pude conocer y me brindó la oportunidad de una segunda vida después de superar un fatal accidente “trauma craneoencefálico” donde humanamente no existían probabilidades de una vida normal, sobre todo, para el pleno desarrollo académico. Sin embargo, gracias al Todopoderoso hoy en día estoy culminando una parte de mi formación profesional con una vida plena y saludable. Por otra parte, y no menos importante, a mis padres Anita Caluguillin y Segundo Carvajal. Mi madre un ser humano con súper poderes, que sin mencionarle nada, ella ya sabía cuál era mi necesidad brindándome su dulce amor, corrección y millones de consejos los mismos que me han forjado como un hombre responsable, respetuoso y humilde. A mi señor padre, por enseñarme a ser un todo terreno y no temerle a ningún trabajo o situación que se presente en la vida, además por siempre confiar en mí y decirte papito lindo que valió la pena cada vez que recolectábamos carbón, aserramos trazos de madera en definitiva cada gota de sudor derramada por conseguir dinero para el cumplimiento de este tan anhelado sueño de tener un hijo con una formación universitaria. Finalmente, a mis hermanos Lourdes, Yadira, Alexis y Milagros quienes me comparten su amor fraternal y siempre se han preocupado por mi bienestar. Dicho de otro modo, por soportar mi forma de ser y nunca dejarme solo.

Wilmer Ariel Carvajal Caluguillin

El presente trabajo de grado está dedicado principalmente a Dios, por darme las fuerzas necesarias para continuar y seguir adelante en este proceso de obtener uno de mis más grandes anhelos. A mis padres José Luis y Mónica, quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y sacrificio me han ayudado a llegar hasta aquí porque han sido el claro ejemplo de responsabilidad, perseverancia y valentía. A mis hermanos Katherine y Dylan por su amor, cariño y apoyo incondicional durante todo este tiempo. A mis sobrinas Emilsse y Aylin que son el motor fundamental desde su llegada irradiándome con su amor y cariño incondicional. Finalmente quiero dedicar esta tesis a toda mi familia, que, con sus bendiciones diarias, sus palabras emocionales hicieron de mí una persona capaz de lograr muchas cosas y me acompañaron en todo el camino que he recorrido, a todos los llevo en mi corazón.

Bryan Sebastián Yépez Cevallos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a quienes integran la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte. A sus docentes altamente preparados y mentores no solo del conocimiento académico sino de experiencias de vida que nos han formado como profesionales audaces, eficientes y efectivos en cualquier tarea encomendada.

Al Msc. Edwin Arroyo, por ser un docente y tutor comprometido por el bienestar del estudiante y por todo su tiempo dedicado para la culminación de este proyecto de titulación, ya que más allá de compartir sus conocimientos se mostró como un amigo resolviendo hasta las mínimas inquietudes en el desarrollo del presente documento.

Wilmer Ariel Carvajal Caluguillin

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a Dios, quien con su bendición me ha guiado durante todo este camino y también a mi familia. A mis padres, por su amor y sacrificio infinito que me han apoyado incondicionalmente en todos estos años, gracias a ustedes he logrado alcanzar mis sueños y metas propuestas al inicio. De igual manera, mi profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), a sus autoridades y personal de calidad. Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Edwin Arroyo Msc, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, paciencia, tiempo y asistencia permitieron el desarrollo y culminación de este trabajo de titulación.

Bryan Sebastián Yépez Cevallos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Planteamiento del problema	2
1.4 Formulación del problema	3
1.5 Delimitación temporal y espacial	3
1.6 Antecedentes	3
1.7 Sistema de escape	5
1.7.1 Componentes del sistema de escape	5
1.8 Tipos de silenciadores	6
1.8.1 Silenciadores reactivos o reflexivo	8
1.8.2 Silenciador de interferencia - helmholtz	9
1.8.3 Silenciadores disipativos o absorción	10
1.9 Catalizadores	11
1.10 Gases contaminantes	11
1.11 Contaminación auditiva	12
1.11.1 Efectos de la contaminación auditiva	12
1.11.2 Efectos físicos	12
1.11.3 Efectos psicológicos	13

1.12 ¿Cómo se mide el nivel de ruido?	13
1.13 Elementos de sintonización acústica	14
1.13.1 Ondas y sonidos	14
1.13.2 Ondas longitudinales	15
1.14 Normativas	16
CAPÍTULO II	17
2. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1 Procedimiento metodológico	17
2.2 Selección de silenciadores	18
2.2.1 Silenciador ovalado híbrido	18
2.2.2 Silenciador cilíndrico reactivo	20
2.2.3 Silenciador bala- absorbente	21
2.2.4 Silenciador down sized- reflectante	22
2.3 Materiales	24
2.3.1 Lana de vidrio	24
2.3.2 Tol galvanizado	24
2.3.3 Tol negro	24
2.3.4 Matriz para la elección de los materiales de construcción	25
2.3.5 Matriz para la elección del material absorbente	25
2.4 Datos del vehículo e instrumentación	26
2.4.1 Equipos y herramientas	27
2.5 Diseño y simulación en software	30
2.5.1 Fórmulas para la modelación	31
2.5.2 Cálculos en el sistema de escape	32
2.5.3 Modelación matemática	33
CAPÍTULO III	36
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1 Simulación solidwoks	36
3.1.1 Diseño 3d y simulación en solidworks	36

3.2	Procesos de construcción de los silenciadores	45
3.2.1	Proceso de señalización del material	45
3.2.2	Proceso de corte de la lámina	46
3.2.3	Proceso de barolado para el cuerpo del silenciador.	47
3.2.4	Proceso de prensado para las tapas de los silenciadores	48
3.2.5	Proceso de corte para las tuberías	50
3.2.6	Proceso de perforación en las tuberías	51
3.2.7	Proceso de soldadura y unión.	52
3.2.8	Proceso de corte con plasma para las bridas.	54
3.2.9	Proceso de suelda de los tubos con los conductos.	55
3.2.10	Proceso de construcción de sujetadores.	56
3.2.11	Proceso de pintura.	56
3.3	Pruebas dinamométricas	57
3.3.1	Pruebas torque y potencia	57
3.3.2	Curvas de torque y potencia	58
3.4	Análisis de emisiones de gases	60
3.4.1	Proceso para la obtención de datos	60
3.4.2	Análisis total de emisiones de gases de escape	60
3.5	Análisis de niveles de ruido	62
3.5.1	Proceso para la obtención de datos	62
3.5.2	Análisis total de niveles de ruido de los silenciadores	62
3.6	Discusión	63
3.6.1	Pruebas dinamométricas	63
3.6.2	Pruebas de análisis de gases	65
3.6.3	Pruebas de análisis de ruido	70
3.7	Análisis de costos	72
3.7.1	Costos directos	73
3.7.2	Costos indirectos	74
3.7.3	Costos totales	74
	CAPÍTULO IV	76
	4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

4.1 Conclusiones	76
4.2 Recomendaciones	78
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
ANEXOS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
1.1 Partes del sistema de escape	6
1.2 Clasificación de los silenciadores	7
1.3 Silenciador de área discontinua	8
1.4 Silenciador con cámara de expansión	9
1.5 Cámaras de expansión paralelas	9
1.6 Silenciador con resonador Helmholtz	10
1.7 Silenciador de absorción	10
1.9 Gases contaminantes Gasolina	12
1.10 Onda Longitudinal	15
1.11 Onda Transversal	16
2.1 Metodología	18
2.2 Silenciador absorbente mixto	19
2.3 Esquema interno del silenciador ovalado híbrido	19
2.4 Silenciador ovalado híbrido con resonador	20
2.5 Esquema interno del Silenciador ovalado híbrido	21
2.6 Silenciador Deportivo tipo bala	21
2.7 Esquema interno del silenciador bala	22
2.8 Esquema interno, artículo	23
2.9 Esquema interno del silenciador reflectante	23
2.10 Sonómetro QM1592	27
2.11 Dinamómetro BPA- 2VR	28

2.12 Analizador de Gases AGS-688	29
3.1 Modelo 3D silenciador ovalado híbrido	36
3.2 Modelo 3D silenciador cilíndrico reactivo	37
3.3 Modelo 3D silenciador bala-absorbente	37
3.4 Modelo 3D silenciador Down Sized	38
3.5 Condiciones de contorno	39
3.6 Flujo de presión	40
3.7 Flujo de velocidad	40
3.8 Flujo de presión	41
3.9 Flujo de velocidad	41
3.10 Flujo de presión	42
3.11 Flujo de velocidad	42
3.12 Flujo de presión	43
3.13 Flujo de velocidad	43
3.14 Señalización de bridas	46
3.15 Corte de lámina por cizalla de banco	47
3.16 Baroladora mecánica	48
3.17 Prensa para crear las placas deflectoras de los silenciadores	49
3.19 Tornillo de banco para sujetar los tubos de corte	50
3.20 Amoladora con disco de corte para tubos	51
3.21 Taladro pedestal para perforación de tubos	52
3.22 Suelda MIG	53
3.23 Alambre de suelda #8	53
3.24 Máquina para corte de plasma	54
3.25 Suelda de los conductos con el silenciador	55

3.26 Dobladora de tubos y varillas	56
3.27 Curva de potencia y par motor del tubo directo	58
3.28 Curva de potencia y par motor del silenciador cilíndrico	58
3.29 Curva de potencia y par motor del silenciador ovalado híbrido	59
3.30 Curva de potencia y par motor del silenciador bala	59
3.31 Curva de potencia y par motor del silenciador Down Sized	60
3.32 Resultados de potencia máxima	63
3.33 Resultados de par motor máximo	64
3.34 Resultados de CO en ralentí	65
3.35 Resultados de CO ₂ en ralentí	66
3.36 Resultados de HC en ralentí	66
3.37 Grafica de resultados de O ₂ en ralentí	67
3.38 Resultados de CO a 2 500 rpm	68
3.39 Resultados de CO ₂ a 2 500 rpm	68
3.40 Resultados de HC a 2 500 rpm	69
3.41 Grafica de resultados de O ₂ a 2 500 rpm	70
3.42 Resultados de ruido en ralentí	71
3.43 Resultados de ruido a 6 000 rpm	72
AI.1 Dimensionamiento de la plancha de tol	85
AI.2 Medición de tuberías	85
AI.3 Proceso de corte de los moldes de las tapas	86
AI.4 Tapas de los silenciadores cilíndrico y Down Sized	87
AI.5 Corte del cuerpo del silenciador	87
AI.6 Tapas del silenciador ovalado híbrido	87
AI.7 Barolado del silenciador ovalado híbrido	88

AI.8 Barolado del silenciador cilíndrico	88
AI.9 Perforación de tubería interna de los conductos	89
AI.10 Corte de bridas por plasma	89
AI.11 Ensamblaje de silenciadores	90
AI.12 Perforación de placas deflectoras.	90
AII.1 Silenciador Deportivo Tipo Bala	91
AII.2 Silenciador Ovalado Híbrido	91
AII.3 Silenciador Cilíndrico Reactivo	92
AII.4 Silenciador Down Sized Reflectante	92
AIII.1 Silenciador Cilíndrico Reactivo	93
AIII.2 Silenciador Ovalado Híbrido	94
AIII.3 Silenciador Deportivo Tipo Bala	95
AIII.5 Prueba Dinamométrica en vehículo Corsa Wind 1.4L	97
AIII.6 Inmovilizar el vehículo antes de la prueba dinamométrica	97
AIV.1 Silenciador Cilíndrico	98
AIV.2 Silenciador Ovalado Híbrido	99
AIV.3 Silenciador Deportivo Tipo Bala	100
AIV.4 Silenciador Down Sized Reflectante	101
AV.1 Análisis de Ruido a marcha mínima	102
AV.2 Análisis de Ruido a marcha máxima	102

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
1.1 Parámetros para el diseño de silenciadores	7
1.2 Niveles permisibles de sonido	14
2.1 Especificaciones de los Materiales	24
2.2 Matriz para la elección del material de construcción	25
2.3 Matriz para la elección del material absorbente	26
2.4 Información del vehículo	26
2.5 Especificaciones de medidas del sonido	27
2.6 Especificaciones técnicas del dinamómetro	29
2.7 Especificaciones técnicas del analizador de gases de escape	30
2.8 Datos técnicos del vehículo	32
3.1 Condiciones de para la simulación	39
3.2 Perdida de presión	44
3.3 Perdida de presión	44
3.4 Materiales Utilizados	45
3.5 Tabla de resultados de pruebas dinamométricas	57
3.6 Resultados gases en ralentí	61
3.7 Resultados gases a 2500 rpm	61
3.8 Resultados de los niveles de ruido	62
3.9 Costos directos de los materiales utilizados	73
3.10 Costos indirectos	74
3.11 Costos totales	74

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	PÁGINA
I Proceso de construcción de los silenciadores	85
II Silenciadores contruidos	91
III Pruebas dinamométricas	93
IV Pruebas dinamométricas	98
V Pruebas de análisis de ruido	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	PÁGINA
1. Fórmula de área y volumen de salida del motor	31
2. Fórmula de volumen del cilindro del motor	31
3. Fórmula de revoluciones por minuto	31
4. Fórmula para encontrar el caudal del flujo volumétrico	31
5. Fórmula del flujo volumétrico	32

RESUMEN

El presente proyecto titulado EFECTO DEL SILENCIADOR DE ESCAPE EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO, tiene como objetivo identificar la influencia del silenciador de escape en la respuesta de par motor, potencia, emisiones de gases y nivel de ruido emitido por un motor. Se utilizó el vehículo Corsa Wind 1.4L, con la ayuda del software SOLIDWORKS se realizó los diseños y simulaciones de cuatro prototipos de silenciadores los cuáles son: reactivos, disipativos, absorbente e híbridos. Una vez obtenidos los resultados del proceso de diseño y simulación se llevó a cabo la construcción para lo cual se utilizaron equipos y herramientas de mecánica industrial. En el dinamómetro BPA- 2VR se ejecutó la primera prueba donde se posicionó al vehículo con el silenciador denominado Ovalado Híbrido obtuvo un valor de 61,10 HP en la potencia, con respecto al tubo directo que era de 69,20 HP mostrando una leve disminución en la potencia del vehículo. Por otro lado, en el análisis de par motor el silenciador cilíndrico reactivo adquirió un valor de 88,38 Nm siendo éste el valor más apegado al referencial de 99,03 Nm. La segunda prueba realizada fue en el sonómetro Digitech, modelo QM1592 reflejó que en pruebas a ralentí (950 rpm), el silenciador cilíndrico reactivo logra atenuar el ruido a 86,26 Db en relación al tubo directo de 103,20 Db y aplicando una aceleración constante de 6 000 rpm el mismo silenciador mostró los mejores resultados en atenuación marcando 100,70 Db con respecto al tubo directo de 105,84 Db. Finalmente, en la prueba de gases de escape utilizando el analizador Brain Bee, modelo AGS-688 donde el vehículo no consta de un catalizador, sonda lambda por ello, los valores obtenidos de las pruebas no tienen afinidad con los valores permisibles en un vehículo estándar. Sin embargo, el silenciador tipo ovalado híbrido indicó los valores más bajos en emisiones de CO, CO₂, HC, O₂. En general la atenuación del ruido depende de la distribución de las cámaras y del material atenuante.

ABSTRACT

The present project entitled EFFECT OF THE EXHAUST MUFFLER IN A CAUSED IGNITION ENGINE, aims to identify the influence of the exhaust silencer in the response of engine torque, power, gas emissions and noise level emitted by an engine. The Corsa Wind 1.4L vehicle was used, with the help of SOLIDWORKS software, the designs and simulations of four prototypes of silencers were carried out, which are: reactive, dissipative, absorbent and hybrid. Once the results of the design and simulation process were obtained, the construction was carried out, for which industrial mechanical equipment and tools were used. The BPA-2VR dynamometer carried out the first test where the vehicle was positioned with the muffler called Oval Hybrid, obtaining a value of 61,10 HP in power, with respect to the direct tube, which was 69,20 HP, showing a slight decrease in power. vehicle. On the other hand, in the engine torque analysis, the reactive cylindrical silencer acquired a value of 88,38 Nm, this being the value closest to the reference of 99,03 Nm. The second test carried out was in the Digitech sound level meter, model QM1592, which showed that in tests at idle speed (950 rpm), the reactive cylindrical silencer manages to attenuate the noise to 86,26 Db in relation to the direct tube of 103,20 Db and applying an acceleration constant of 6 000 rpm the same silencer showed the best results in attenuation marking 100,70 Db with respect to the direct tube of 105,84 Db. Finally, in the exhaust gas test using the Brain Bee analyzer, model AGS-688, where the vehicle does not have a catalyst, therefore a lambda probe, the values obtained from the tests have no affinity with the permissible values in a standard vehicle. . However, the hybrid oval-type muffler indicated the lowest values in CO, CO₂, HC, O₂ emissions. In general, noise attenuation depends on the distribution of the chambers and the attenuating material.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos automotrices con el pasar de los años mejoran de manera considerable la calidad de vida de las personas, encaminados en la conservación sana del medio ambiente y la disminución de la contaminación vehicular por emisiones. Por otro lado, uno de los factores más importantes que se considera es el del ruido que es producido por los vehículos, siendo este otro tipo de contaminación auditiva muy grave para los seres humanos causando graves lesiones en el oído y sistema nervioso. Por esta razón, surge la necesidad de diseñar, fabricar y evaluar silenciadores desde un punto cero, silenciadores en motores de encendido provocado, con la finalidad de identificar de forma teórico-práctico como la distribución de tuberías y placas reflectantes influyen, en la atenuación del ruido y comprobar que, a mayor flujo másico a desalojar, mayor será el ruido generado. Además, esta investigación se fundamenta en analizar las curvas características del motor, los niveles de ruido y las emisiones de gases que produce el motor, los cuales son en el CO, CO₂, HC, para este fin se utiliza equipos de medición como: Sonómetro Digitech, modelo QM1592, el dinamómetro BPA- 2VR, analizador de gases Brain Bee AGS 688 los cuales se aplican en un vehículo Corsa Wind1.4L. El vehículo debe estar en condiciones óptimas de funcionamiento, tomando en cuenta que se pretende realizar cinco pruebas con cada uno de los equipos para tener un valor promedio con mayor exactitud. Finalmente, con los datos obtenidos en las pruebas se procede a realizar una comparación entre el tubo directo del sistema de escape con cada uno de los cuatro prototipos de silenciadores tratando de identificar cual es el mejor en su funcionamiento

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar el efecto que produce el silenciador de escape en un motor de encendido provocado mediante el análisis de las curvas características del motor, emisiones de gases contaminantes y niveles de ruido para determinar la diferencia entre cuatro tipos de silenciadores.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las variables que influyen en el diseño del silenciador de escape para un motor de encendido provocado.
- Diseñar cuatro tipos de silenciadores de acuerdo a las características de un motor de encendido provocado mediante software CFD.
- Fabricar los cuatro tipos de silenciadores para un vehículo con motor de combustión interna.
- Evaluar los efectos que provoca cada uno de los silenciadores construidos en el rendimiento del motor, las emisiones de gases contaminantes y los niveles de ruido del sistema de escape.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Desde los inicios de la creación del automóvil a finales del siglo XIX, sus creadores y colaboradores identificaban que había que hacer mejoras constantemente en los sistemas de alimentación, dirección, suspensión y confort al poner a prueba a sus prototipos en carretera (Baysan, 2019) y parte de ello es el control sobre la contaminación sónica, en el génesis de los automóviles sus motores eran robustos y no existía mayor preocupación por los gases evacuados de la combustión y su impacto en el ambiente, es así que, para el 11 de mayo de 1897 los

estadounidenses Milton O. Reeves y Marshall T. Reeves de Columbus Indiana patentaron este dispositivo mecánico (Aranguren, 2018) bajo el número 582485 con el nombre de Exhaust muffler for engines (Silenciador de escape para motores), y desde ahí se han ido incorporado normativas de fabricación que obligan a los fabricantes de vehículos a la reducción y preocupación por las emisiones implementando en sus sistemas de escape elementos (catalizadores, filtro antipartículas, AdBlue) adicionales que controlen y regulen la salida de los gases.

Otra aplicación muy importante de los silenciadores es la atenuación del ruido provocado por la combustión interna de motores lo cuales sin un control pueden perturbar las distintas actividades comunitarias (Nieto, 2018), interfiriendo la comunicación hablada, base de la convivencia humana, perturbando el sueño, el descanso y la relajación, impidiendo la concentración y el aprendizaje, y lo que es más grave, que garanticen el bienestar a la comunidad (Ministerio del Ambiente, 2015) de 80 a 90 dB (decibel) para vehículos livianos, pasajeros y carga.

Por lo tanto, se debe verificar el estado del sistema de escape de nuestro vehículo evidenciando fisuras del mismo o la suspensión de elementos como sensores o catalizadores con la idea errónea de disminuir el consumo de combustible o ganar potencia, por último, diseñar y simular en software el funcionamiento del silenciador para garantizar su correcto funcionamiento y capaces de fabricarlo justificando que, este acontecimiento garantice que el nivel de ruido producido no incida en los permisibles para el oído humano y se pueda regular la salida de los gases contaminantes. Además, contribuir en el objetivo 12, del Plan de creación de oportunidades donde se cita: “Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático.” (Consejo Nacional de Planificación, 2021). Garantizando ecosistemas sanos precautelando la salud de las personas, de otros seres vivos y de la naturaleza.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En nuestro país por lo general, las personas realizan constantes modificaciones en sus vehículos por conocimiento empírico o simplemente por tendencia, sin antes indagar, ¿Cómo influyen esos cambios en la dinámica y funcionamiento del vehículo?, es por ello que, en las vías se encuentra con frecuencia vehículos con altas emisiones de ruido. De ahí parte la importancia de

seleccionar un silenciador de acuerdo a las prestaciones del motor y el sector donde el vehículo circula para evitar sanciones por exceder los parámetros de decibeles fijados por las entidades reguladoras (DIARIO LA HORA, 2020).

El problema se produce cuando existe una excesiva exposición a un ruido ambiental por tiempos prolongados y de manera constante, evidenciado en problemas graves de salud que directamente la afectación se refleja en el oído, provocando pérdida de la audición, hipertensión y hasta problemas cardiacos (OMS, Acústica español , 2006). De manera que surge la necesidad de diseñar silenciadores que ayuden a mitigar la propagación del ruido y emisiones en las ciudades de gran congestión vehicular para aprovechar el desempeño del motor también garantizando el bienestar de la comunidad.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es realmente importante el diseño del silenciador para contrarrestar emisiones, el ruido y mejorar el desempeño del motor?

1.5 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

El estudio se lleva a cabo en la ciudad de Ibarra, el cual se desarrollará en el campus “El Olivo” de la Universidad Técnica del Norte durante dos periodos de actividades académicas.

1.6 ANTECEDENTES

En los inicios del automóvil los fabricantes utilizaban los silenciadores para eliminar los gases de escape que se logran acumular en el sistema. Al pasar los años ayudaron en la reducción del ruido, es por esto que un silenciador se le puede llamar una obra de arte (Español, 2021). Considerando que tiene un impacto de gran escala y no solo en la manera cómo funciona el motor, por ende, actúa como un toque vibrante en el diseño del automóvil de manera estética.

Los fabricantes se encargaron de definir a los silenciadores como dispositivos que atenúan el campo sonoro que se propaga a través de ellos. Además, ser el responsable de conducir hacia el exterior los residuos que se producen en un motor de combustión interna (Motor M. , 2021); por lo tanto, el trabajo realizado por el sistema de escape debe ser eficiente debido a los ciclos repetitivos y expulsión constante de los gases y residuos. Para garantizar este proceso los

conductos de escape deben dar libertad a la salida de gases para aprovechar de mejor manera la potencia del motor.

El proceso de atenuación del ruido no solo depende del tipo de silenciador que utilice el auto, sino también de los procesos de renovación de carga y las prestaciones mecánicas del motor, así como lo menciona (Vivar, 2015), cuando se generan las fallas al motor dependiendo de cuál sea esta las revoluciones tienden a cambiar y por lo tanto el espectro cambia existiendo un desfase armónico de la frecuencia fundamental. Indiscutiblemente el correcto funcionamiento del sistema de escape empieza desde el mantenimiento y atención que se tenga hacia el vehículo.

El ruido es uno de los agentes físicos contaminantes más fáciles de producir y más difíciles de controlar, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) es uno de los factores ambientales que provoca más problemas de salud. Solo en Europa, según la Agencia Europa del Medio Ambiente (AEMA), causa al año 16 600 muertes prematuras y más de 72 000 hospitalizaciones. Es por esta razón, que a menudo surgen diversas inquietudes de cómo controlar las fuentes de ruido y así disminuir, de alguna manera, cierto porcentaje de contaminación acústica. Según QUORANIA (2020) en las grandes ciudades se promueve el uso compartido de vehículos para llegar a su lugar de trabajo, usar patines o bicicleta y no abusar el uso del claxon. Debido a que, gran parte del ruido urbano es producto de los vehículos de combustión interna. Afortunadamente, existen dispositivos atenuadores de alto desempeño como lo menciona: Ortega (2019) sistemas modificados generalmente incluyen una tubería más gruesa, catalizadores de alto flujo, y silenciadores restrictivos; que garantizan la salida de gases y reducción del ruido. Sin embargo, la mayoría de los silenciadores comerciales son diseñados en un esquema de prueba y error o mediante el uso de software específico (Prada, 2015) en el cual simulan las turbulencias de los gases en las cámaras del silenciador para variar los parámetros de diseño y obtener uno ideal. El diseño de un sistema completo de silenciadores, generalmente, es una tarea muy compleja cada elemento es seleccionado considerando su funcionamiento particular, su costo y sus efectos, debido a la interacción sobre el funcionamiento y la confiabilidad del sistema completo.

Actualmente el interés de la sociedad referente a la contaminación ambiental y acústica, busca obtener la mejora continua de los elementos y materiales utilizados para el control de emisiones,

por lo cual, recientemente se toma en cuenta por los fabricantes la calidad y tipo de sistema de escape que debe utilizar cada vehículo dependiendo las prestaciones y el tipo de propulsión que utiliza.

Es por todo eso que, en el Ecuador, mediante la Agencia Nacional de Transito se establecen artículos que regulan el correcto uso del sistemas de escape (Correa, 2012), así como también según la OMS (2022), que por la salud y bienestar de la sociedad considera que la medida sea de un nivel sonoro medio máximo de 100 decibelios , el cual sea el valor tolerable del ruido aunque también en otros países más desarrollados el valor es menor y todo eso por la tecnología y el avance en realizar este tipo de silenciadores buscando el bien común de las personas y un buen funcionamiento del vehículo.

1.7 SISTEMA DE ESCAPE

En un motor de combustión interna los procesos que se efectúan para su funcionamiento adecuado, parten desde la admisión del aire, donde una serie de componentes entre sensores y actuadores gestionan factores físicos para mantener un régimen pleno con el propósito de generar mayor eficiencia energética en la combustión (Comercio, 2015). Sin embargo, es de suma importancia en la actualidad analizar el otro lado del funcionamiento de un motor donde un sistema trata con los gases y efectos físicos que se producen luego de la combustión denominado sistema de escape, que hoy en día con la aplicación de normativas de regulación de emisiones como es la EURO VI, 2014 permiten evaluar niveles de agentes contaminantes en los vehículos; las mismas que cada día van evolucionando introduciendo sistemas adicionales (SCR, reducción catalítica selectiva) que hacen énfasis en preservar la salud del ser humano (Rodríguez, 2015).

De tal manera que, este sistema tiene cuatro funciones específicas que son recolectar los gases de escape por la combustión producida en los cilindros, eliminar sustancias nocivas, reducir el ruido y que los gases expulsados hacia el exterior no afecten al ocupante del vehículo, sobre todo, a la atmosfera (Automotriz, 2020).

1.7.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE ESCAPE

Un sistema de escape no es solo un conjunto de tubos por donde fluyen los gases, efecto de la combustión por esto, su diseño se involucra desde la válvula de escape hasta el orificio de salida

donde se integran una variedad de elementos, sensores, actuadores que mitigan factores contaminantes como el ruido y las emisiones.

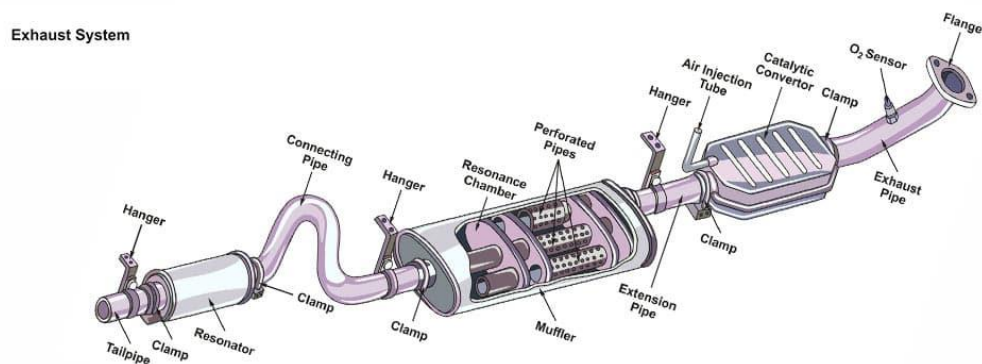


Figura 1.1 Partes del sistema de escape

(Motor C. , 2020)

Como se puede apreciar en Figura 1.1 el sistema de escape es un gestor importante en el control de las emisiones de gases contaminantes y en la mitigación del ruido provocado por la combustión interna. De tal manera que, si observamos la imagen de derecha a izquierda, se inicia desde un sensor de oxígeno (sonda lambda) que constantemente está evaluando la concentración de oxígeno para regular en conjunto con la computadora (ECU) el ingreso adecuado de la mezcla aire-combustible, seguidamente el convertidor catalítico que oxida los gases nocivos NO_x, HC, CO, CO₂. Consecutivamente esta acoplado el muffler (silenciador) responsable de disminuir el nivel de ruido y vibraciones al cortar la longitud de onda en su cámara interior. Finalmente está el resonador que favorece aún más en la reducción del ruido “Estos se conectan a los silenciadores del sistema de escape y tienen la forma de un tubo cilíndrico hueco hecho de acero” (Comunicaciones, 2020).

1.8 TIPOS DE SILENCIADORES

De manera general, los silenciadores tienen la función de reducir el nivel sonoro hasta alcanzar valores permisibles para el ser humano o cumplir una normativa de control. Por lo tanto, para que esto llegue a suceder, en su cámara interior se diseñan conductos con tuberías perforadas en diferentes posiciones o se hace uso de materiales absorbentes (AutoDoc, 2021). Por tal motivo, en el diseño de cualquier tipo de silenciador se debe considerar los siguientes parámetros para

trabajar en el diseño, en función de ruido producido. En la Tabla 1.1 se puede ver los parámetros importantes para el diseño de los silenciadores.

Tabla 1.1 Parámetros para el diseño de silenciadores

FACTORES QUE DETERMINAN EL RUIDO	
Flujo másico	A mayor flujo másico a desalojar, mayor será el ruido generado.
Tipo de gas evacuado	Los gases más ligeros son más ruidosos.
Temperatura	A mayor temperatura, los gases son más ligeros y, por lo tanto, las descargas son más ruidosas.
Dimensiones	Del conducto de entrada/salida del equipo ruidoso.

Fuente: (Inerco 2021)

Bajo estos parámetros previos en donde el flujo másico y la temperatura juegan un papel muy importante, sin embargo se pueden clasificar en dos grupos a los silenciadores utilizados en la industria, hablando de manera general, sin embargo, los más utilizados en los automóviles son los del grupo pasivos, los mismos que en el mercado se pueden encontrar en distintas configuraciones de su cámara (reactivos, disipativos, de resonador lateral y de interferencia) con el propósito de reducir el ruido en diversas frecuencias.



Figura 1.2 Clasificación de los silenciadores

En la figura 1.2 se muestra los tipos de silenciadores según el tipo de atenuación que este realicen.

1.8.1 SILENCIADORES REACTIVOS O REFLEXIVO

En este tipo de silenciadores no se utiliza material absorbente para atenuar el ruido, por lo tanto se modifica la geometría de los tubos en función del diámetro desde un pequeño hasta uno con una diferencia mayor al primero para que parte de la energía de salida sea devuelta a la fuente por reflexión de ondas, produciéndose un fenómeno físico como lo manifiesta Torres (2010) “la atenuación se produce, básicamente, por fenómenos de tipo reactivo en los que parte de la energía incidente regresa a la fuente propagadora del ruido debido a la reflexión que se produce por cambios de sección o bien por otras singularidades de tipo geométrico”. De manera que, en este grupo de silenciadores se puede considerar las siguientes variaciones en el diseño y disposición de tubos.

- **Área discontinua**

Se considera la manera más simple de lograr provocar el fenómeno de reflexión, debido a que cumple el parámetro de variación de diámetros entre los tubos conectados entre sí, tal como se puede observar en la imagen.

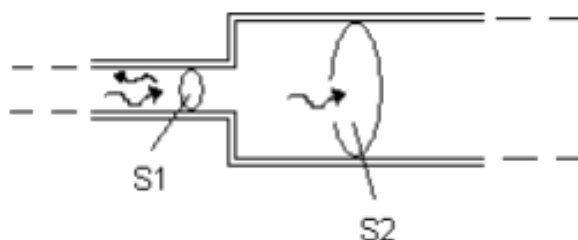


Figura 1.3 Silenciador de área discontinua

(Torres, 2010)

En la figura 1.3 se muestra la estructura del silenciador con respecto al ingreso del flujo en un cambio de diámetro del conducto S1 a S2.

- **Cámara de expansión**

La característica principal de este modelo está en que los diámetros del conducto de entrada y salida son iguales.



Figura 1.4 Silenciador con cámara de expansión

(Universal 2022)

En la figura 1.4 se muestra las dimensiones de un silenciador con respecto a los conductos de entrada, salida y su cámara de expansión.

- **Ramas laterales**

Este silenciador lleva integrado una cámara de expansión en paralelo al conducto principal, el cual producirá el efecto de atenuación y reflexión del sonido. Este tipo puede ofrecer mayor atenuación y por lo tanto pérdida de carga.

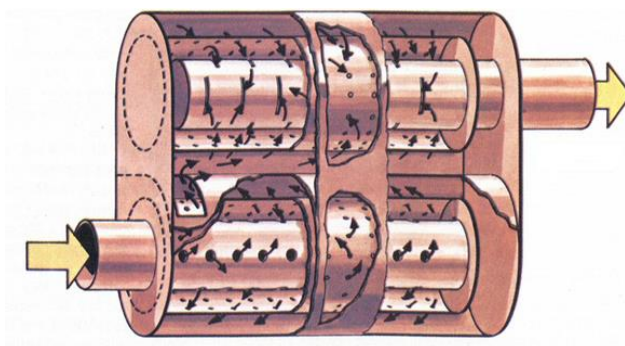


Figura 1.5 Cámaras de expansión paralelas

(Giga, 2019)

En la figura 1.5 se muestra las cámaras de expansión en paralelo de un silenciador indicando el número de placas reflectantes que existen en su interior.

1.8.2 SILENCIADOR DE INTERFERENCIA - HELMHOLTZ

En un conjunto de cámaras con tuberías y chapas de material perforadas direccionados de distintas formas con el propósito de minimizar los niveles de ruido, como si fuese un laberinto, van integrados todos estos elementos dentro del silenciador conjuntamente a un extremo con un

sistema de resonador de Helmholtz que ayuda a cancelar ondas sonoras con una frecuencia específica que haya quedado después de todo el recorrido por todo este sistema (Delphipages 2020).

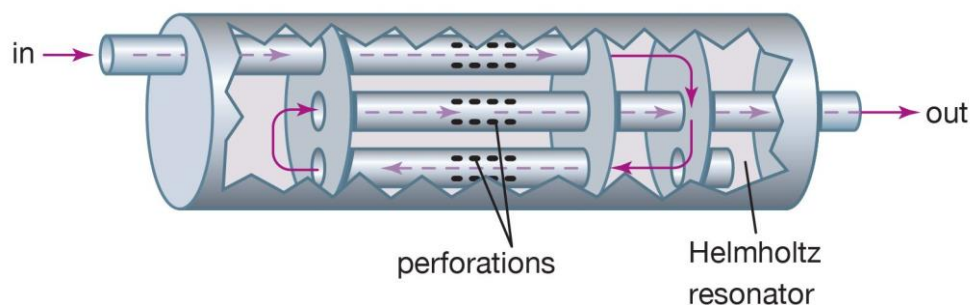


FIGURA 1.6 Silenciador con resonador Helmholtz

(Encyclopedia Britannica, 2013)

Como se observa en la figura 1.6 la composición de este silenciador se basa en configurar las tuberías perforadas en el interior de la cámara de expansión.

1.8.3 SILENCIADORES DISIPATIVOS O ABSORCIÓN

Fueron desarrollados en el año 1933 para MG Midget, un modelo de vehículo deportivo, así que este tipo de silenciador emite un tono deportivo con un mínimo de contrapresión (Escapes, 2021). De manera que el principio de funcionamiento de estos, se basa en un conducto principal de entrada y salida de los gases de escape, pero a su alrededor se encuentra dispuesto un material aislante térmico y acústico como puede ser lana de vidrio (López, 2019).

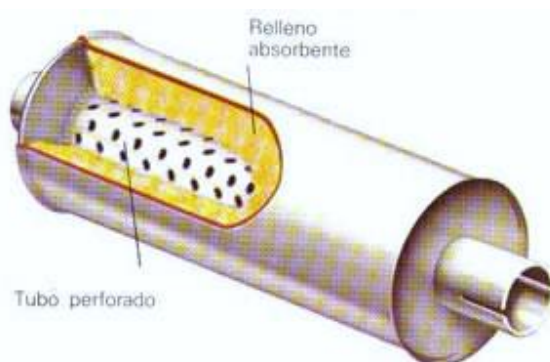


FIGURA 1.7 Silenciador de absorción

(Espinosa 2018)

En la figura 1.7 se aprecia que en el interior de la cara de expansión lleva un solo tubo perforado cubierto por una capa robusta de material absorbente.

1.9 CATALIZADORES

El catalizador tiene como principal función disminuir los elementos polucionantes que se encuentran en los gases de escape mediante el proceso de la catálisis. Es importante tomar en cuenta que no es un filtro, sino un reactor químico en el cual están presentes varias conversiones de reactivos que se da entre los gases y los metales preciosos. “El catalizador se intercala en el tubo de escape, cerca del motor, de tal manera que ahí los gases mantienen su temperatura muy elevada aproximadamente ($\pm 400^\circ$) de esta manera ayuda a tener un proceso importante de reacción química”. (Ferrer Ruiz & Checa Ibañez, 2010).

1.10 GASES CONTAMINANTES

Entre los gases contaminantes principales en los motores de encendido provocado están los: Hidrocarburos, Oxígeno, Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.

Los hidrocarburos tienden a reaccionar con los óxidos de nitrógeno generado por la acción de la luz del sol y también por las temperaturas altas, de esta manera se forma ozono a nivel del suelo aquí entra un problema principal esto puede generar irritación en los ojos, tos, problemas al respirar y trastornos pulmonares permanentes. Por otro lado, los óxidos de Nitrógeno (NOX) son los principales en la formación del ozono y lluvia ácida que genera el medio ambiente de tal manera que el problema principal es que afecta la calidad del líquido vital que es el agua. Finalmente, el monóxido de carbono se le considera como un gas incoloro que es de suma peligrosidad porque reduce considerablemente el paso del oxígeno en el torrente sanguíneo de tal manera que afecta las funciones cerebrales y también genera problemas en la vista, “La mayor cantidad de contaminantes es emitida durante el arranque en frío o durante los minutos que el auto tarda en calentarse” (VICTOR, 2007)

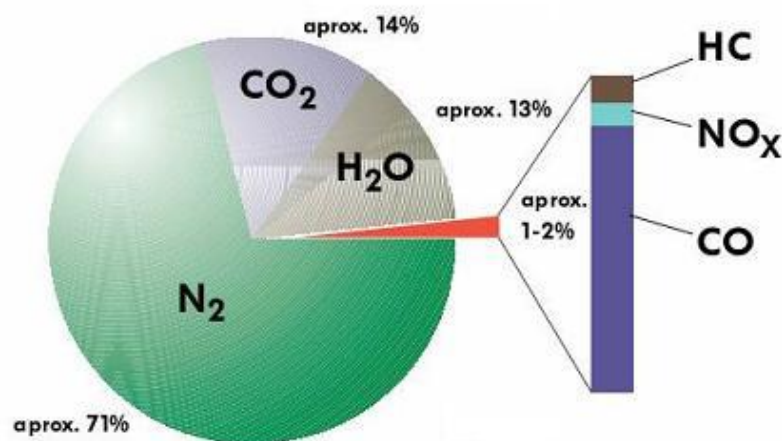


FIGURA 1.9 Gases contaminantes Gasolina

Fuente: (BOSCH, 2003)

En la figura 1.9 se aprecia los niveles de gases contaminantes que emiten los motores de encendido provocado y que son expulsados al medio ambiente.

1.11 CONTAMINACIÓN AUDITIVA

“El termino contaminación auditiva hace referencia al ruido, provocado por las actividades humanas entre ellas están: tráfico, industrias, locales de ocio, aviones, automóviles, etc. Por lo que producen efectos negativos sobre la salud aditiva, física y mental de las personas”. (Bautista, Celi, & Farfam, 2013)

1.11.1 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN AUDITIVA

Entre los efectos principales de contaminación auditiva el ruido es el principal dado que este implica molestia general, riesgo fuerte o incluso un daño permanente para las personas en las cuales está implicado el desarrollo normal de las actividades, “Los efectos de la contaminación auditiva o sonora se clasifican en efectos físicos, psicológicos, psicopatológicos” (UNIVERSIDAD DE BARCELONA, 2012)

1.11.2 EFECTOS FÍSICOS

Estos efectos se producen principalmente por daños que generan en las personas como, por ejemplo:

- Pérdida de la capacidad auditiva
- Dificultad para poder dormir

- Cansancio
- Estrés
- Fátiga
- Falta de deseos personales (ECODES, 2005).

1.11.3 EFECTOS PSICOLÓGICOS

En este apartado juega un papel muy importante los decibels en la cual es permisible para el odio humano entre ellos están:

Mayor a 60 Decibeles

- Parpadeo acelerado y una leve dilatación en las pupilas.
- Problemas respiratorios y taquicardias.
- Aumento de la presión arterial y dolores de cabeza repentinos.

Mayor a 85 Decibeles

- Aumento de la grasa, colesterol y triglicéridos.
- Puede generar un infarto.
- Aumenta la glucosa en la sangre (ECODES, 2005).

1.12 ¿CÓMO SE MIDE EL NIVEL DE RUIDO?

El ruido es posible medirlo gracias a los avances tecnológicos y todo esto se lo realiza por medio de un aparato conocido como sonómetro.

El decibel es la unidad de medida utilizada para conocer el nivel de ruido latente, en esta parte se considera un umbral de audición normal que comienza entre 0 decibels y umbral de dolor entre los 120 decibels. “La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera como un valor límite superior a 85 decibeles en un máximo de 8 horas es el nivel que puede generarse sin tener riesgos”. (SALUD, 2015)

En la tabla 1.2 se considera los valores de ruido en decibeles y la afectacion que produce en el ser humano.

Tabla 1.2 Niveles permisibles de sonido

Nivel de sonido	Número Db
Sensación de Dolor	130 dB
Motor aviones a 5 metros	120 dB
Tren veloz a 5 metros	110 dB
Motor sin silenciador	100 dB
Martillo de trabajo fuerte	90 dB
Lugar de mucho tráfico	80-70 dB
Aspiradora	60 dB
Conversación	50-40 dB
Habitación vacía	30-20 dB
Reloj de Pared	10 dB
Umbral bajo	0 dB

FUENTE: (MIYARA, 2018)

Los niveles de ruido que son producidos por varios medios explican de manera general que el oído humano tiene un valor permisible para soportar niveles altos de ruido, al estar expuestos durante prolongadas horas a un nivel fuerte de ruido generaría daños fatales a nivel psicológico y también físicamente.

1.13 ELEMENTOS DE SINTONIZACIÓN ACÚSTICA

El sonido será un factor importante de análisis en los sistemas de escape, por lo tanto es importante definir e identificar como es su comportamiento, según (Ducourneau and Gil-Loyzaga 2016) “El sonido es una onda producida por las vibraciones mecánicas de un soporte o medio, que puede ser sólido, líquido o gas”, para que este fenómeno físico se produzca debe partir de una perturbación producida por una fuente mecánica donde las moléculas chocan entre ellas generando cambios de presión lo que denotará en distintos tipos de ondas que se mueven paralelas a la dirección de propagación de la onda.

1.13.1 ONDAS Y SONIDOS

Las ondas sonoras son transmitidas de forma longitudinal, la cual se encarga de transmitir todo lo relacionado con el sonido. Si se propaga en un medio considerado elástico y continuo genera

una variación de su presión y la densidad de tal manera que ahí cambia su forma. Existen dos tipos de ondas que son las longitudinales y las transversales. Las ondas sonoras viajan a través de cualquier medio material con una rapidez que depende de las propiedades del medio. A medida que las ondas sonoras viajan a través del aire, los elementos del aire vibran para producir cambios en densidad y presión. (Serway, 2005)

1.13.2 ONDAS LONGITUDINALES

Las ondas longitudinales son cuando las vibraciones están producidas consecuentemente en posición de equilibrio de tal manera que se originan en la misma dirección es así que se genera la onda y por eso se las considera como ondas longitudinales a las ondas sonoras y a las propagadas directamente por los muelles.

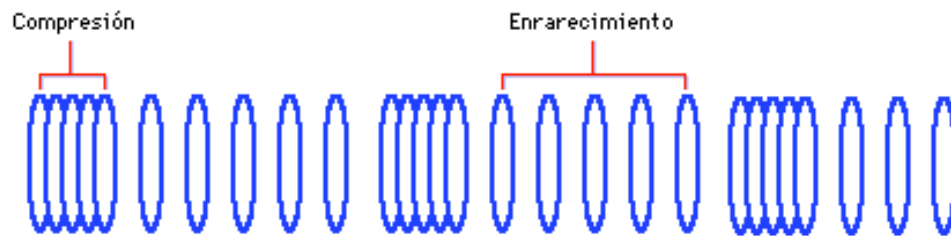


FIGURA 1.10 Onda Longitudinal

(Cabrerizo, Antón, & Barrio, 2007)

En la figura 1.10 se aprecia una onda longitudinal en la cual expresa la compresión cuando se mantienen unidas y el enrarecimiento cuando tienen una separación de acuerdo a la onda generada.

1.13.3 ONDAS TRANSVERSALES

Las ondas transversales son cuando las vibraciones están producidas consecuentemente en posición de equilibrio de tal manera que se originan en dirección perpendicular a la cual se genera la onda. Como ejemplo claro podemos considerar que este tipo de ondas es factible observar en la superficie del agua, al lanzar una piedra y por ende a las ondas electromagnéticas.



FIGURA 1.11 Onda Transversal

(Cabrerizo, Antón, & Barrio, 2007)

En la figura 1.11 se aprecia una onda transversal en la cual expresa la longitud de la onda tomando en cuenta su amplitud y cresta máxima y mínima.

1.14 **NORMATIVAS**

Entre las normativas para la medición de sonido de un tubo de escape, se considera la norma “Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles y para vibraciones” (REPUBLICA, 2022).

En el cual redacta que la medición de los ruidos en ambiente exterior se efectuará utilizando un sonómetro el mismo que será ubicado a 0,5 metros del tubo de escape y a una altura no inferior de 0,2 metros del tubo de escape con un ángulo de 45 grados con el plano vertical el cual contiene la salida de los gases de escape.

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

En la actualidad muchas autoridades, organizaciones e incluso el gobierno se han preocupado por el tema de contaminación sonora que es generado por las grandes fábricas industriales y principalmente por el gran aumento del parque automotor.

La mayoría de los talleres destinados a la fabricación de silenciadores están basados en modelos reales existentes y lo que hacen es construirlos de acuerdo a los parámetros del original. Los fabricantes de escapes y silenciadores están en la actualidad diseñando y fabricando nuevos modelos con materiales conocidos por su normativa de trabajo que garantice un correcto funcionamiento.

Bajo este criterio el presente trabajo busca diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de cuatro tipos de silenciadores.

En primer lugar, se aplica una investigación exploratoria la cual se basa en estudiar un problema que no se encuentra claramente definido, de tal manera que la finalidad es la de identificar los métodos de fabricación, el análisis de sus materiales para poder realizar un diseño adecuado de los cuatro tipos de silenciadores, así también respetando las normas previstas dentro de nuestro país el cual ayudará a realizar un diseño claro, una construcción adecuada y una validación de resultados exactos.

Posteriormente, se utilizará una investigación de carácter experimental, considerando que es uno de los métodos principales de investigación, es importante tomar en cuenta que debe ser realizado bajos los estándares de pruebas principales entre ellas están la de analizar emisiones de gases de escape, niveles de ruido y principalmente el desempeño mediante curvas características del mismo.

Para la construcción de los cuatro tipos de silenciadores se aplicó un método tradicional el cual está basado en las diferencias que existen entre los diseños, materiales y construcción de los mismos que existen en la actualidad en Ecuador.

Con ayuda de simulaciones computacionales en base a cálculos matemáticos, se aplican las condiciones de trabajo del motor y el flujo que tendrán los gases de escape todo esto realizado por el sistema computacional CFD.

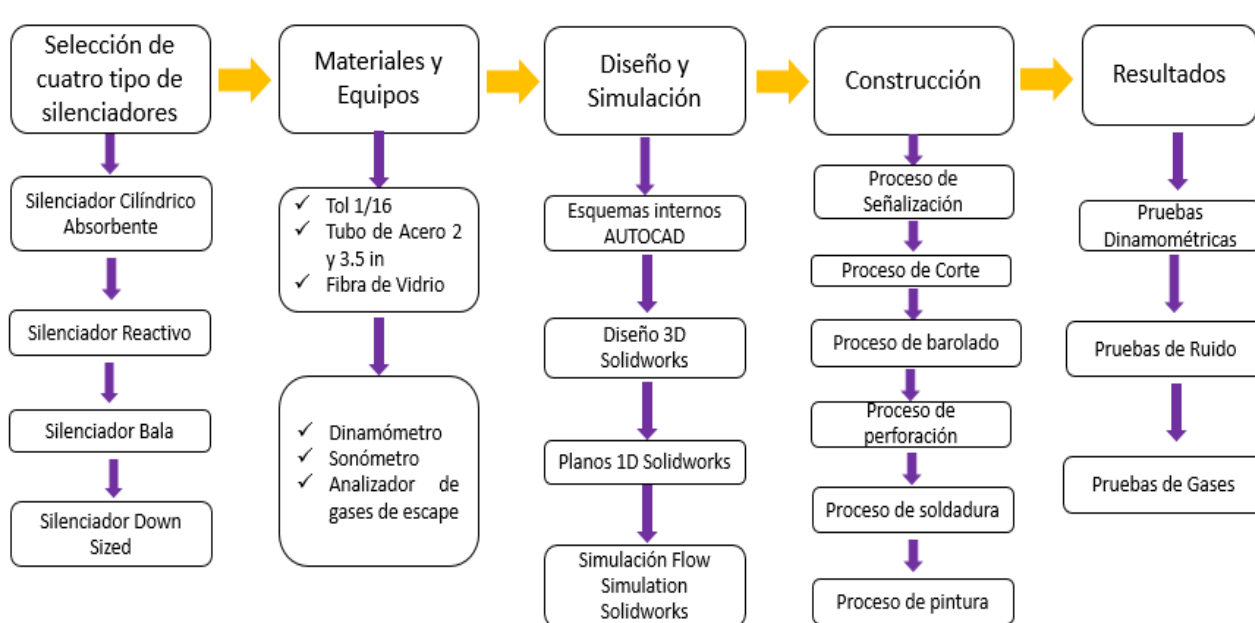


FIGURA 2.1 Metodología

En la figura 2.1 se detalla la metodología mediante un diagrama de flujo, que ayudará a llevar un proceso secuencial en la serie de actividades a finalizar.

2.2 SELECCIÓN DE SILENCIADORES

Luego de haber realizado la revisión bibliográfica, la principal función del silenciador es la atenuación del ruido y se identificó que los factores que influyen en la atenuación del ruido es la geometría interna de tuberías y su disposición en cada uno de los tipos silenciadores. Para ello, se ha modificado las configuraciones de las cámaras y materiales empleados en la manufactura de silenciadores. En general, se procedió a seleccionar cuatro tipos, para lo cual se consideró la cilindrada del vehículo y el área de ubicación disponible en vehículo.

2.2.1 SILENCIADOR OVALADO HÍBRIDO

Este diseño está caracterizado por la utilización de un material absorbente envuelto en alguna de las tuberías dispuestas en las cámaras, o por el contrario se puede disponer de una cámara para rellenar con lana de vidrio, permitiendo la absorción de espectros de ruido a media y alta

frecuencia, además permite un aislamiento térmico. De manera que, atenuar el ruido será en función del tipo y espesor del material absorbente utilizado, de la longitud del silenciador y de la sección de paso (Palacios, 2010)



FIGURA 2.2 Silenciador absorbente mixto

(Asmet 2022)

Como se visualiza en la Figura 2.2 este tipo de silenciador lleva una configuración de tres cámaras. En la cámara uno, presenta material absorbente mientras que para los dos restantes una combinación de placas perforadas y tubos de paso con agujeros. Finalmente, el diseño de la carcasa es de forma rectangular por lo cual se debe seleccionar una lámina de acero que sea flexible para trabajos en frío.

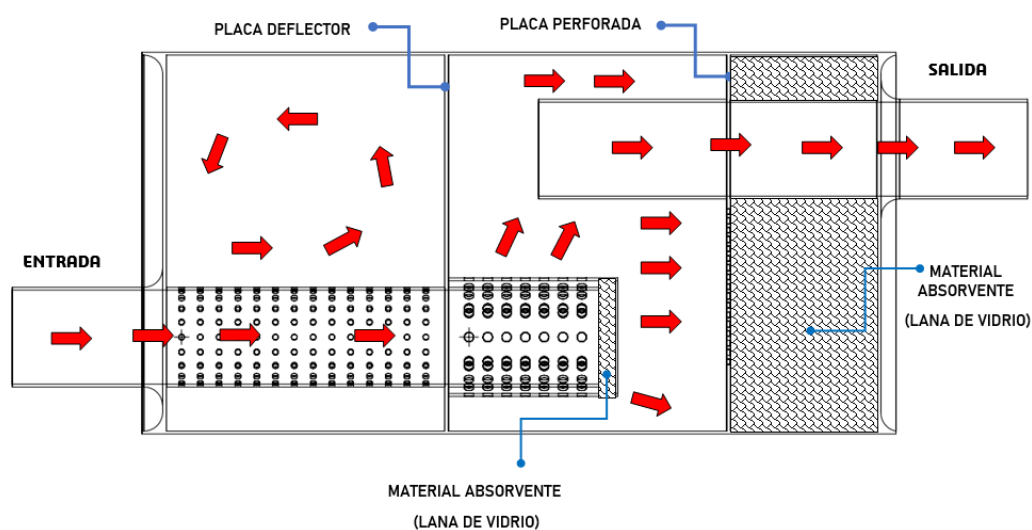


FIGURA 2.3 Esquema interno del silenciador ovalado híbrido

En la figura 2.3 se muestra el esquema interno del funcionamiento del silenciador considerando el sentido de entrada y salida de la circulación de gases que está definida mediante flechas, esta estructura interna ayuda a entender de mejor manera cual es la función principal de este primer tipo de silenciador mixto, el cual se basa en la utilización de lana de vidrio que lo hace ser absorbente acústicamente y también se caracteriza por la estructura perforada en sus conductos para la liberación de los gases considerando así un mejor rendimiento del motor y un menor contaminación al medio exterior.

2.2.2 SILENCIADOR CILÍNDRICO REACTIVO

Este diseño se caracteriza por llevar dos o más cámaras de expansión conectadas por tubería sin perforaciones, donde las ondas sonoras rebotan y chocan entre sí perdiendo energía en forma de calor, finalmente una cámara de resonancia que logra suprimir ondas propagantes y de esta manera se disminuye la velocidad y frecuencia de onda, dando como resultado la atenuación del sonido del motor, por lo general, son aplicados en motores de baja velocidad y alta potencia.

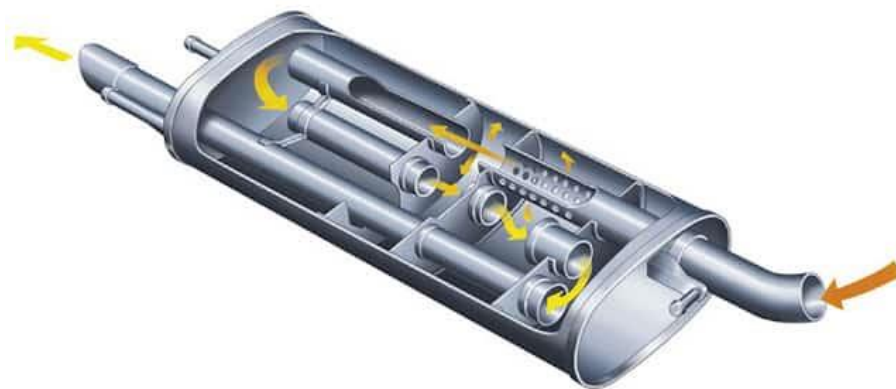


FIGURA 2.4 Silenciador ovalado híbrido con resonador

(Ventos 2021)

La particularidad de este modelo de silenciador es la de tener una cámara que hace la función de resonador de Helmholtz como se muestra en la figura 2.4 misma que absorbe el ruido grave de las bajas frecuencias generadas dentro del silenciador, este tipo de silenciador es construido por materiales dentro del alcance del medio como puede ser tol galvanizado o negro con usos relativamente similares.

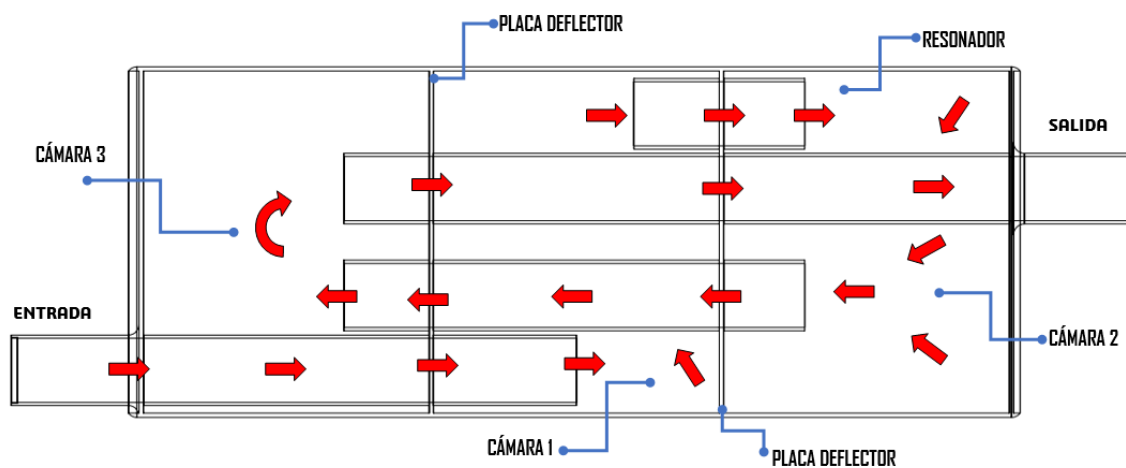


FIGURA 2.5 Esquema interno del Silenciador ovalado híbrido

En la figura 2.5 se puede verificar el esquema interno de este tipo de silenciador conocido como Silenciador ovalado híbrido el cual al generar el efecto Helmholtz logrando agudizar el sonido disminuyendo la frecuencia de onda.

2.2.3 SILENCIADOR BALA- ABSORBENTE

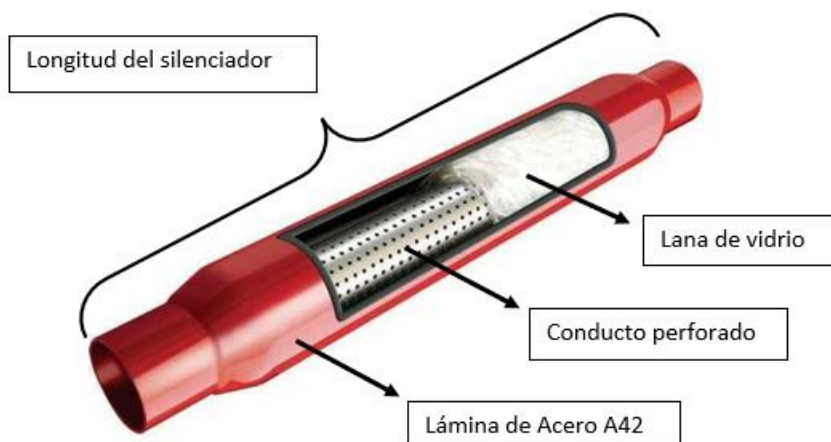


FIGURA 2.6 Silenciador Deportivo tipo bala

(DYNOMAX, 2022)

Como se observa en la figura 2.6 la principal característica de este diseño es el recubrimiento que tiene el tubo por lana de vidrio, permitiendo la absorción de espectros de ruido a media y alta frecuencia, además permite un aislamiento térmico. De manera que, atenuar el ruido será en función del tipo y espesor del material absorbente utilizado, de la longitud del silenciador, de la sección de paso, del revestimiento del material absorbente utilizado, y del tamaño de las perforaciones.

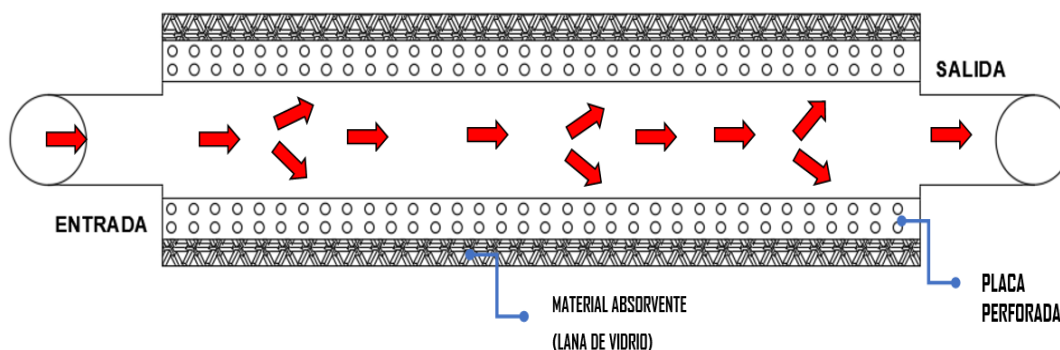


FIGURA 2.7 Esquema interno del silenciador bala

En la figura 2.7 se puede verificar el esquema interno de este tipo de silenciador conocido como silenciador deportivo tipo bala, se puede observar el flujo de los gases que corresponden a un conducto perforado que hace que los gases tomen diferentes direcciones en la parte inferior y superior de la estructura interna consta de un material absorbente de lana de vidrio.

2.2.4 SILENCIADOR DOWN SIZED- REFLECTANTE

Durante toda la investigación realizada con respecto a los tipos de silenciadores y el estado del arte, ocasionó gran impresión un artículo publicado por (GUHANa, 2018), donde se pretende optimizar el área y volumen de un silenciador original, haciendo énfasis en la filosofía “Down Sized” la que establece piezas más ligeras, menos contaminantes y sobre todo que se mantenga las mejores prestaciones del motor.

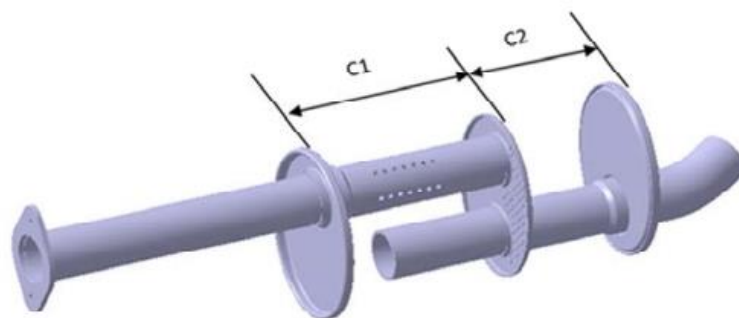


FIGURA 2.8 Esquema interno, artículo

(GUHANa, 2018)

En la figura 2.8 se puede apreciar el diagrama interno del silenciador constituido por dos cámaras. La tubería de ingreso con perforaciones y la de salida que conecta hacia la primera cámara.

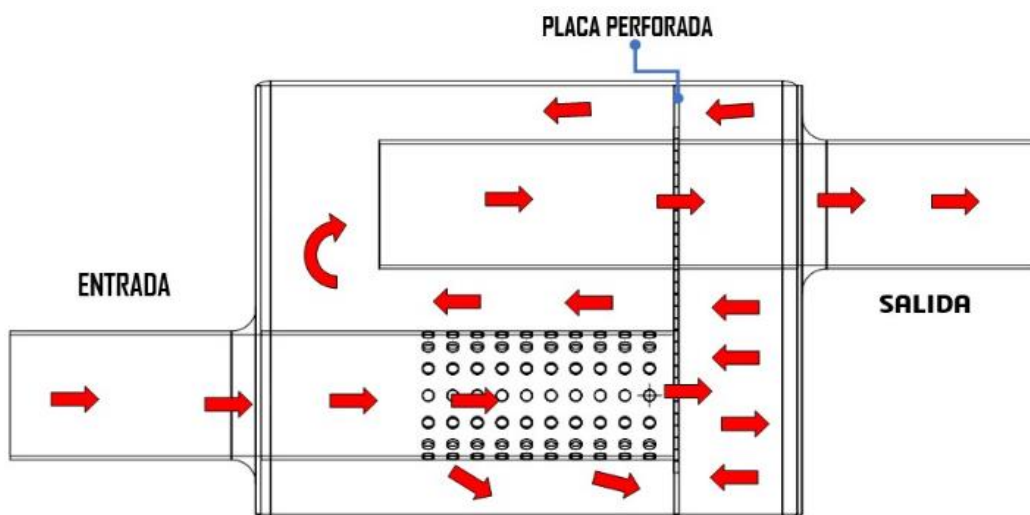


FIGURA 2.9 Esquema interno del silenciador reflectante

En la figura 2.9 se puede observar cómo es flujo de los gases por una tubería con 70 perforaciones y como el mismo se va desgastando al pasar por una placa perforada hacia una segunda cámara provocando un efecto de reflexión y los gases definitivamente salen a la atmósfera.

2.3 MATERIALES

A continuación, se detallarán algunos de los materiales que serán utilizados para la fabricación de los cuatro tipos de silenciadores.

2.3.1 LANA DE VIDRIO

Este tipo de material está construido con filamentos de vidrio que se funden con otro tipo de materiales de tal manera que forman productos sólidos, entre las ventajas que genera este tipo de material son resistentes a estar en la intemperie, resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas por otro lado es importante considerar que cuando son colocados mal dentro de la cámara de expansión del silenciador este puede ser expulsado por el conducto haciendo que pierda las propiedades del silenciador en gran parte.

2.3.2 TOL GALVANIZADO

Este tipo de material es uno de los principales en nuestro medio por el cual se realiza la fabricación de los silenciadores dado que posee una mayor dureza y una gran resistencia. Es uno de los materiales más prácticos porque no necesita mantenimiento y tiene un acabado estético adecuado. Para la fabricación de los silenciadores se utiliza la medida 1.4 mm que representa un espesor del material.

2.3.3 TOL NEGRO

Este tipo de material también es de alcance en el medio, se lo utiliza en la rama automotriz como un gran referente en la fabricación de instrumentos no expuestos para el vehículo.

En la tabla 2.1 se muestra las características principales que posee estos tipos de materiales empleados en la fabricación de los silenciadores.

Tabla 2.1 Especificaciones de los Materiales

Especificaciones	Tol Galvanizado	Tol Negro
Acero Base	Laminados al frío	Laminados al frío
Norma	NTE INEN 115	NTE INEN 115
Espesor	1/16 in – 1,4 mm	1/16 in – 1,4 mm
Límite de Fluencia	205-380 MPa	250 MPa
Elongación Mínima	20 % min	23% min
Módulo Elasticidad	200-207 GPa	200 GPa

FUENTE: (DIPAC MANTA S.A., 2022)

Las propiedades mecánicas son semejantes para los dos materiales y la principal diferencia radica en la capacidad antioxidante que tiene el galvanizado en comparación con el tol negro.

2.3.4 MATRIZ PARA LA ELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En la presente matriz se establece las especificaciones para elegir el material más adecuado para la fabricación de los silenciadores tomando en consideración aspectos principales que deben tener cada uno de los materiales a emplear.

Como se puede observar en la tabla 2.2 el material para ser aplicado en la construcción de los cuatro tipos de silenciadores es el Tol Galvanizado considerando valores referenciales entre su espesor que es 1,4 mm siendo así un material con un costo al alcance del medio, una forma de trabajo en su flexibilidad lo que permite ser moldeado al diseño deseado, es importante recalcar que la soldabilidad es aceptable por lo que no se generaran grietas que filtren fugas, finalmente se puede verificar que la durabilidad de este material es adecuado por sus características en la rama automotriz y por su resistencia a trabajar en ciertas condiciones.

Tabla 2.2 Matriz para la elección del material de construcción

Parámetros	Costo	Flexibilidad	Soldabilidad	Durabilidad	Rango
Factor de Ponderación	0,30	0,25	0,25	0,20	1,00
Tol Galvanizado	9 / 2,7	9 / 2,25	8 / 2	7 / 1,4	8,35
Tol Negro	8 / 2,4	8 / 2	8 / 2	8 / 1,6	8
Acero Inoxidable	7 / 2,1	6 / 1,5	9 / 2,25	9 / 1,8	7,65

La matriz genera parámetros importantes para la elección del material adecuado en la construcción es por eso que de acuerdo a factores de ponderación el material adecuado para su construcción es el tol galvanizado con un rango mayor de ponderación con los otros materiales.

2.3.5 MATRIZ PARA LA ELECCIÓN DEL MATERIAL ABSORBENTE

En la matriz se considera varios tipos de material absorbente que serán empleados dentro de la construcción de los cuatro tipos de silenciadores, el material a elegir siempre debe estar cumpliendo estándares aplicados para cumplir las normativas de fabricación y que permita ser maniobrado para que cumpla las características deseadas.

Como se puede observar en la tabla 2.3 el material absorbente que cumple con todas las características principales es la lana de vidrio, es importante mencionar que existen varios tipos y cada una cumple una función específica que posee ciertas ventajas pero la más importante es la lana de vidrio tipo E, considerando todos sus parámetros y por sus propiedades es la más usada en la industria por todo su resistencia, absorbe poca humedad y su costo es uno de los más recomendados para ser aplicados dentro de la industria automotriz.

Tabla 2.3 Matriz para la elección del material absorbente

Parámetros	Costo	Peso	Resistencia Mecánica	Aislante	Rango
Factor de Ponderación	0,30	0,25	0,25	0,20	1,00
Lana de vidrio TIPO E	9 / 2,7	9 / 2,25	8 / 2	8 / 1,6	8,55
Lana de vidrio TIPO C	6 / 1,8	8 / 2	8 / 2	7 / 1,4	7,20
Lana de vidrio TIPO D	7 / 2,1	7 / 1,75	9 / 2,25	9 / 1,8	7,90

La relación de lana de vidrio como un material atenuante del ruido en el marco de construcción de los silenciadores abarca un papel importante de tal manera que la lana de vidrio tipo E es la adecuada para este tipo de fabricación por ser la más común y fácil de encontrar en el mercado.

2.4 DATOS DEL VEHÍCULO E INSTRUMENTACIÓN

El vehículo que se usa para la fabricación de los cuatro tipos de silenciadores contempla los siguientes datos técnicos como se puede observar en la tabla 2.4 indicando toda la información acerca del vehículo.

Tabla 2.4 Información del vehículo

PARÁMETRO	DETALLE
Marca	Chevrolet
Modelo	Corsa 3P STD 1.4L
Año	2002
Cilindraje	1 400

Los datos técnicos ayudan a determinar los valores correctos para realizar las pruebas.

2.4.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Entre los equipos que se usaron para la realización de los diferentes estudios están los siguientes:

- Sonómetro Digitech, modelo QM1592



FIGURA 2.10 Sonómetro QM1592

Como se observa en la figura 2.10 este equipo es adecuado para realizar pruebas con gran precisión, validación y en ocasiones surgen pruebas con mucha repetitividad. Este sonómetro cuenta con un calibrador el cual ayudar a verificar de manera correcta los resultados es ideal para prueba de ruido en los vehículos.

En la tabla 2.5 Se puede observar las especificaciones del equipo considerando ciertos aspectos importantes.

Tabla 2.5 Especificaciones de medidas del sonido

Especificaciones Técnicas	Valores Ponderados
Respuesta	Rápida de toma de medida del sonido
Rango de Frecuencia	31,5 Hz -8 000 Hz
Ponderación	A sonidos al odio humano y C bajas frecuencias
Actualización de Medición	Cada 0,5 segundos
Calibración	94, 114 dB
Precisión	$\pm 1,4$ dB

FUENTE: (GRAYSPROTECT, 2020)

Los rangos de frecuencia que dispone el equipo genera un valor más exacto y con la actualización de medición cada 0,5 segundos nos da una medida precisa.

- La ponderación “A”

Es una categoría de las frecuencias audibles que se encuentran diseñadas para lograr reflejar la respuesta al ruido que se genera en el oído humano, dado que no es sensible a frecuencias muy altas ni tan bajas. Este tipo de ponderación cubre un rango de frecuencia de 20 Hz a 20 kHz de tal manera que esta ponderación es un valor de cómo percibe el ruido nuestro oído.

- La ponderación “C”

Es una categoría estándar con más capacidad de las frecuencias audibles que son comúnmente usadas en la medición del nivel de presión sonora es decir en Db que indican los decibels ponderados indicando así una categorización con la letra.

- Dinamómetro Vomag, modelo BPA-V2R



FIGURA 2.11 Dinamómetro BPA- 2VR

En la figura 2.11 se muestra la composición del equipo útil para simular pruebas de aceleración y lograr estimar la potencia generada por un vehículo mediante el análisis de par torsional y la velocidad angular (CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA, 2019). Entre las pruebas principales que se realizan están:

- Medidas de potencia escalonada
- Diagnóstico de analizadores de gases de escape a baja carga
- Frenado a velocidad y carga constante

Entre otras, considerando una de las principales la potencia que se puede generar dentro del vehículo lo cual ayuda a realizar las pruebas pertinentes en el proceso de fabricación de los silenciadores. En la tabla 2.6 se puede verificar las especificaciones técnicas del dinamómetro,

Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del dinamómetro

Especificaciones Técnicas	Valores Ponderados
Alimentación	220- 400 V AC
Rango de frecuencia	50-60 Hz
Corriente Nominal	16 A
Masa	1 200 Kg
Presión del circuito de aire comprimido	6 bares
Diámetro de los rodillos	240 mm
Ancho del rodillo	660 mm
Velocidad máxima del vehículo a prueba	180 Km/ h

FUENTE: (SA)

La precisión del circuito de aire comprimido para la realización de pruebas y la modificación con la presión atmosférica del lugar genera medidas de par motor y potencia más exactas sin dejar de mencionar que la velocidad que genera el dinamómetro es alta.

- Analizador de gases de escape Brain Bee, modelo AGS-688



FIGURA 2.12 Analizador de Gases AGS-688

El analizador de gases de la figura 2.12 es uno de los más completos equipos dentro del mercado automotriz, de tal manera que funciona como un operador de valores de los gases que se miden, incluye datos de las rpm y temperatura del aceite del motor, sin embargo, tiene a disposición una impresora para tener los datos medidos. Es importante mencionar que tiene un software computarizado mediante el cual se puede realizar varias pruebas con los parámetros necesarios. Todo este proceso lo realiza gracias a una cámara de medición que tiene una gran precisión en su lectura.

En la tabla 2.7 se puede visualizar los rangos de medición que tiene este analizador de gases de escape considerando todos sus valores de medición en parámetros reales dentro del software computarizado.

Tabla 2.7 Especificaciones técnicas del analizador de gases de escape

PARÁMETRO	RANGOS DE MEDICIÓN	RESOLUCIÓN
CO	0 – 0,99 %	RES: 0,01
CO2	0 – 19,9 %	RES: 0,1
HC	0 - 9999 %	RES: 1
O2	0 - 25 %	RES: 0,01
LAMBDA	0,5 – 5L	RES: 0,001
NOx	0 – 5 000 ppm	RES: 1
RPM	300 – 9 990 RPM	RES: 10
TEMPERATURA	20 – 250° C	RES: 1

FUENTE: (SA)

El analizador de gases tiene parámetros de medida adecuados para verificar el estado del vehículo de acuerdo a la normativa vigente en nuestro territorio generando así que todos los gases sean medidos y verificar el estado adecuado del vehículo.

2.5 DISEÑO Y SIMULACIÓN EN SOFTWARE

Se tomó en cuenta varios factores importantes para realizar el diseño y simulación en software SOLIDWORKS en el cual se trabajó el diseño y la simulación en Flow Simulation con varios

cálculos en el sistema de escape para considerar la velocidad promedio de ingreso de los gases a los silenciadores y considerar estos parámetros para ser aplicados en la simulación.

2.5.1 FÓRMULAS PARA LA MODELACIÓN

Es importante considerar que las fórmulas de modelación son importantes para lograr conocer el comportamiento de los gases de salida del motor y es necesario poder calcular la velocidad de salida de los gases desde el motor hasta el silenciador.

Fórmula de área y volumen de salida del motor

$$A_1 = \frac{\pi(D_1)^2}{4} \quad (1)$$

Donde:

$A_1 = \text{Área del pistón (Cm)}^2$

$D_1 = \text{Diámetro del piston (cm)}$

Fórmula de volumen del cilindro del motor

$$V = \frac{\pi C(D_1)^2}{4} \quad (2)$$

Donde:

$V = \text{Volumen total de un cilindro del motor (cm)}^3$

$D_1 = \text{Diámetro del pistón (cm)}$

$C = \text{Carrera del pistón (cm)}$

Fórmula de revoluciones por minuto

$$1 \text{ rpm} = \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \quad (3)$$

Fórmula para encontrar el caudal del flujo volumétrico

$$Q = \text{Volumen del Cilindro} * \text{Rpm} \quad (4)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal del flujo volumétrico} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$VCil = \text{Volumen del Cilindro} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$Rpm = \text{Revoluciones por minuto} \text{ (rev/s)}$$

Fórmula del flujo volumétrico

$$Q = A * v \quad (5)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal del flujo volumétrico} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$A = \text{Área} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$v = \text{Velocidad promedio} \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

2.5.2 CÁLCULOS EN EL SISTEMA DE ESCAPE

Se tomó en cuenta la información que se encuentra en un apartado del documento para su posterior utilización en los cálculos para poder obtener la velocidad de los gases de escape y caudal de escape. Con la ayuda de los datos técnicos que se encuentran en el manual de fabricante del vehículo contribuirá de manera significativa para obtener los parámetros y ser aplicados en la simulación. En la tabla 2.8 se indican los datos técnicos del vehículo utilizado.

Tabla 2.8 Datos técnicos del vehículo

Parámetro	Detalle
Torque Máximo	2 800
Número de Cilindros	4
Diámetro	77,6 mm
Carrera	73,4 mm
Cilindraje	1 389 c.c

Con los datos técnicos del manual del fabricante del vehículo es más exacto realizar los cálculos para luego ser aplicados en las condiciones de borde de la simulación en SOLIDWORKS.

2.5.3 MODELACIÓN MATEMÁTICA

En primer lugar, se calculó la cilindrada unitaria del motor considerando la ecuación (2) y también la información de los datos técnicos del vehículo.

$$V = \frac{\pi * (D1)^2 * C}{4}$$

Donde:

Vcil = Volumen del cilindro del motor (m)³

D₁ = Diámetro del pistón (m)

C = Carrera del pistón (mm)

$$V_{cil} = \frac{\pi * (0,077m)^2 * (0,073m)}{4}$$

$$V_{cil} = \frac{1,389 \times 10^{-3} m^3}{4}$$

Es importante considerar que el valor $1,389 \times 10^{-3} m^3$ es el valor total del volumen del cilindro el cual se tomó en cuenta para encontrar el caudal volumétrico que permitió obtener la velocidad promedio, por otro lado, se obtuvo el volumen unitario de cada cilindro donde se divide para el número de cilindros y obteniendo como resultado:

$$V_{cil} = 3,471 \times 10^{-4} m^3$$

Luego de conseguir el valor del volumen del cilindro, se procedió a calcular las revoluciones por minuto del motor con la ecuación (3), esto ayudó a tener en cuenta el tiempo, considerando los valores de rpm máximas según los datos técnicos del vehículo.

$$1 \text{ rpm} = \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}$$

$$2800 \text{ rpm} = \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 46,66 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Se consideró de manera general que para dos revoluciones de giro que tiene el cigüeñal existe un proceso de escape, de tal manera que por cada dos vueltas que da, el cigüeñal da el flujo que se genera es expulsado al exterior. En las 2 800 revoluciones por minuto del motor valor en el cual trabaja eficientemente para aprovechar su potencia y tenga un bajo consumo de combustible Por lo tanto, a 2 800 rpm el valor es $46,66 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$.

Para tomar en cuenta el valor de una vuelta, se dividió el valor de las revoluciones a la mitad es por eso que el tiempo que entrega el gas en una vuelta es de:

$$\frac{46,66}{2} = 23,33 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

Con estos dos resultados obtenidos anteriormente se procedió a calcular el caudal del flujo volumétrico que indica la rapidez del flujo, se realiza por medio de la ecuación (4) de flujo volumétrico.

$$Q = \text{Volumen Cilindro} * Rpm$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal del flujo volumétrico} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$V_{cil} = \text{Volumen del cilindro} (m^3)$$

$$Rpm = \text{Revoluciones por minuto} (rev/s)$$

Con los datos calculados se obtuvo el caudal volumétrico y con este dato se obtiene la velocidad promedio para ser aplicados en la simulación.

$$Q = 1,389 \times 10^{-3} m^3 * 23,33 \frac{\text{rev}}{\text{s}}$$

$$Q = 0,032 \frac{m^3}{s}$$

Finalmente, se calcula la velocidad promedio del flujo volumétrico que ingresa en el silenciador considerando dos ecuaciones, la primera es el área del diámetro de la entrada del silenciador expresada en la ecuación (1).

$$A = \frac{\pi(D1)^2}{4}$$

Donde:

$$A_1 = \text{Área } m^2$$

$$D_1 = \text{Diámetro de la entrada del silenciador (m)}$$

El diámetro de la entrada del silenciador es de 2 pulgadas realizando los procesos de conversión se considera un valor 0.0508 metros el cual será utilizado en la ecuación.

$$A = \frac{\pi(0,0508m)^2}{4}$$

$$A = 2,027 \times 10^{-3} m^2$$

Una vez obtenido el área de la entrada del silenciador se utiliza finalmente la ecuación (5) del flujo volumétrico en el cual despejamos la velocidad promedio como valor a encontrar.

$$Q = A * v$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal del flujo volumétrico } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$A = \text{Área } (m^2)$$

$$V_{pro} = \text{Velocidad promedio } \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$V_{pro} = \frac{Q}{A}$$

$$V_{pro} = \frac{0,0324 \frac{m^3}{s}}{2,027 \times 10^{-3} m^2}$$

$$V_{pro} = 15,98 \frac{m}{s}$$

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 SIMULACIÓN SOLIDWORKS

3.1.1 DISEÑO 3D Y SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS

Para la ejecución de este apartado se realizaron mediciones previas al diseño en 3D, del área disponible por el fabricante para el silenciador al inferior del vehículo siendo de 460 x 250 mm, además se consideró diámetro de 50,8 mm de la tubería de salida de los gases que conecta hacia el silenciador y finalmente con la utilización de las fórmulas propuestas se llegó a establecer un flujo volumétrico de $0,0314 \text{ m}^3/\text{s}$ y una velocidad promedio de 15,98 m/s , datos que serán de gran utilidad en la simulación para la obtención de valores numéricos de pérdida de presión y flujo de salida.

MODELOS 3D

Para todos los diseños de los silenciadores realizados se consideró una tubería de 50,8 mm en sus cámaras internas además al ingreso y salida de los gases de escape con la finalidad de limitar las variables de análisis. Sin embargo, en su composición interna existen variaciones en la disposición de tubos, cámaras y el uso de material absorbente.

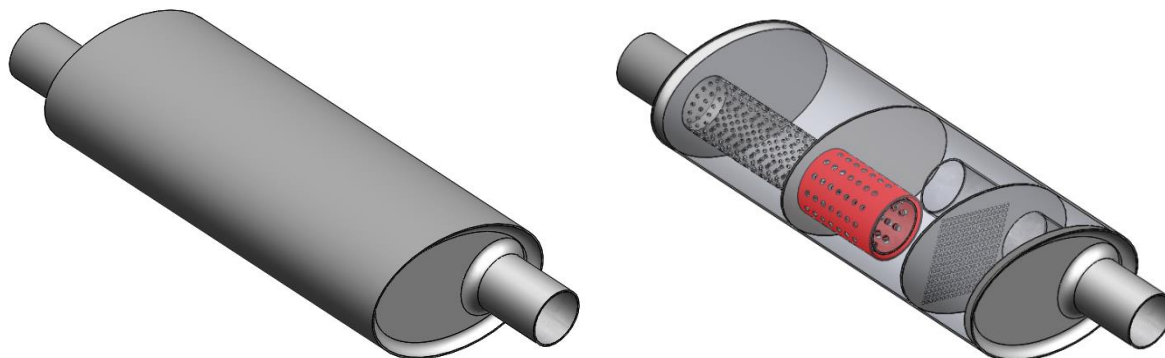


FIGURA 3.1 Modelo 3D silenciador ovalado híbrido

En la figura 3.1 se muestra el diagrama externo e interno del silenciador, mismo conformado por tres cámaras destacando que en la cámara intermedia lleva un tubo perforado (color rojo), que en la punta lleva una cobertura de material absorbente y seguidamente otra cámara la cual estará rellena del material absorbente.

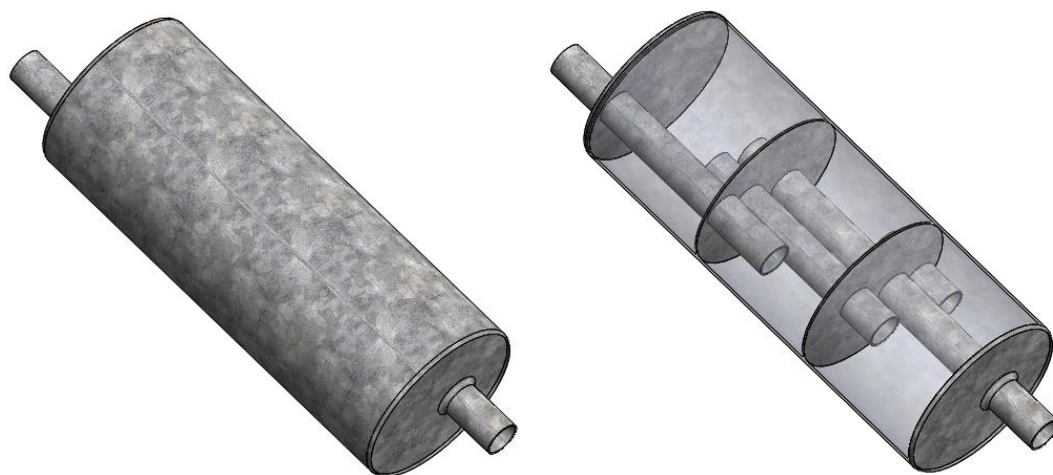


FIGURA 3.2 Modelo 3D silenciador cilíndrico reactivo

En la figura 3.2 se puede visualizar la disposición de la tubería y su relación con las tres cámaras, que va formando un laberinto, con el propósito que en el recorrido del gas se vayan debilitando las ondas por efectos reflexión y por el choque con las placas que dividen las cámaras.

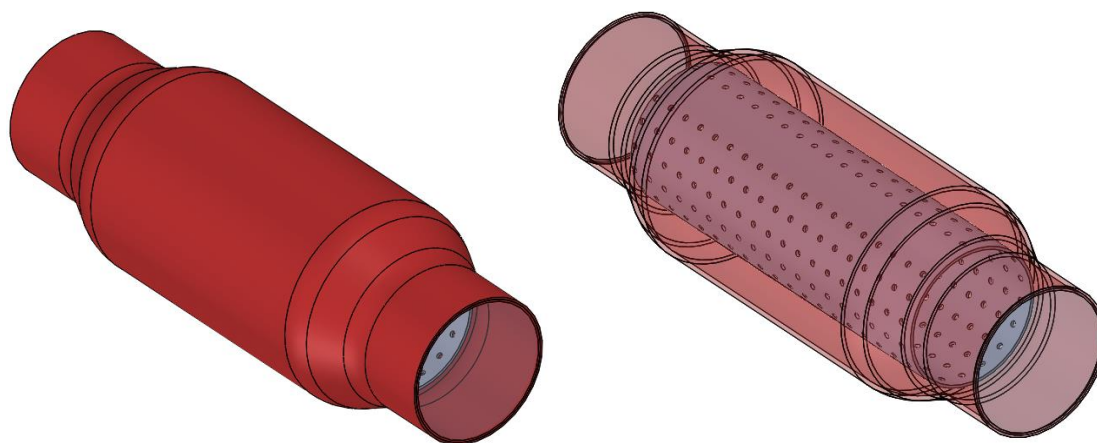


FIGURA 3.3 Modelo 3D silenciador bala-absorbente

La figura 3.3 presenta el diagrama interno del silenciador bala, donde se puede observar un solo tubo perforado por donde el gas pasara hacia el material absorbente que lo recubre de manera que atrape cierta cantidad de ondas.

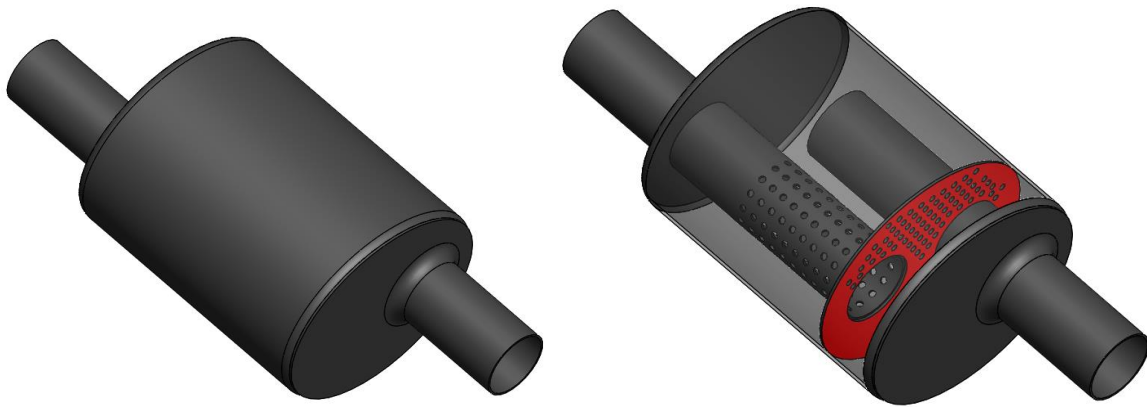


FIGURA 3.4 Modelo 3D silenciador Down Sized

Para la figura 3.4 se muestra un silenciador con forma elíptica, con dos cámaras dentro del mismo y a la vez se hace uso del principio de reflexión. Se ha considerado las medidas y parámetros de la investigación realizada por GUHANa (2018) donde se manifiesta realizar 70 perforaciones en el tubo de entrada del gas, una longitud total de 220 mm, para el cumplimiento del objetivo principal de dicha investigación que fue reducir el volumen en 15% y peso en 2%.

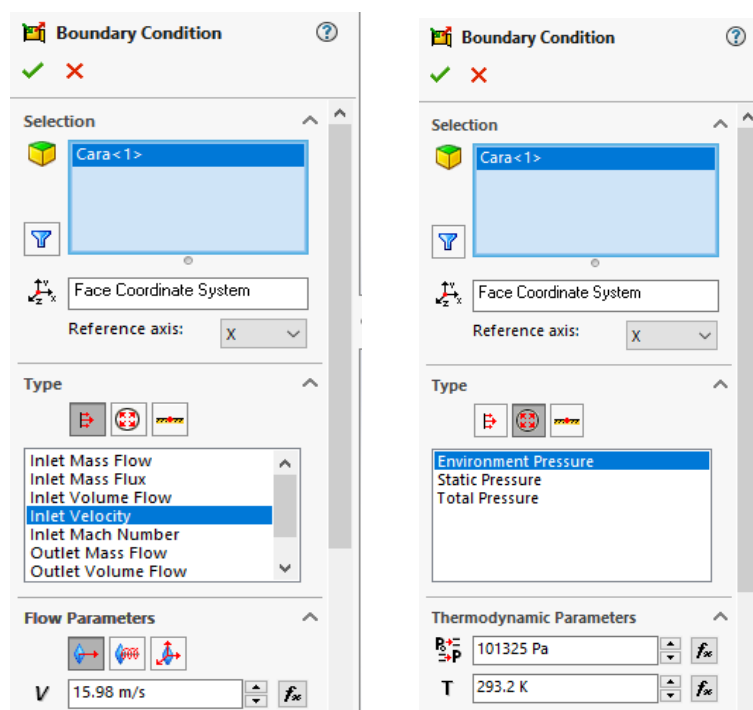
FLOW SIMULATION

En el mismo software SOLIDWORKS, donde se modelo los diseños, se ejecutó la simulación en el apartado de Flow simulation, en la que se realizó un análisis interno de cómo se comporta el fluido dentro del silenciador, por lo tanto, como parámetro inicial se debe crear un volumen cerrado colocando tapas (Create Lids) en las tuberías de entrada y salida. Luego de aquello se insertan las condiciones y parámetros que se desea analizar cómo se observa en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Condiciones de para la simulación

Parámetro	Condición
Tipo de análisis	Estático
Material del dominio	Aire (Gas ideal)
Presión de referencia	1 [atm]
Velocidad de entrada	15,98 m/s
Presión ambiente	101 325 Pa
Temperatura	293,2 k
Flujo volumétrico	0,0313 m^3/s

Para las condiciones de contorno (Boundary Condition) fueron las mismas para los cuatro silenciadores, donde se realizó un análisis de pérdida de presión ingresando el valor de velocidad promedio calculado y los parámetros de presión ambiente se aceptó los establecidos por el software.

**FIGURA 3.5** Condiciones de contorno

Para la figura 3.5 se muestran las condiciones de contorno insertadas en la simulación en función de la modelación matemática con un valor de 15,98 m/s para encontrar los flujos de trayectoria de velocidad, presión y la pérdida de presión que se genera en cada uno de los silenciadores.

FLUJOS DE TRAYECTORIA

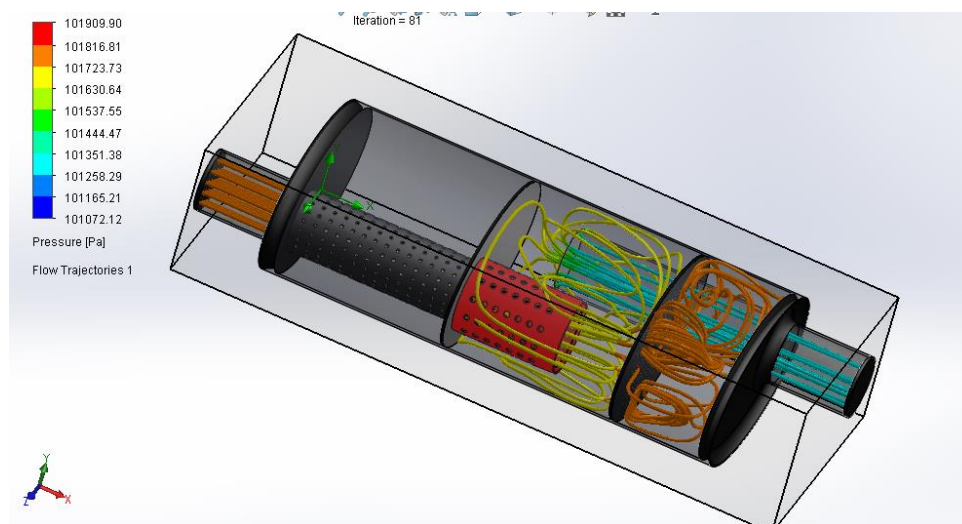


FIGURA 3.6 Flujo de presión

En la figura 3.6 se evidenció que la presión incrementa en la tercera cámara reteniendo gran cantidad de los gases de escape debido a que se rellena la misma con material absorbente.

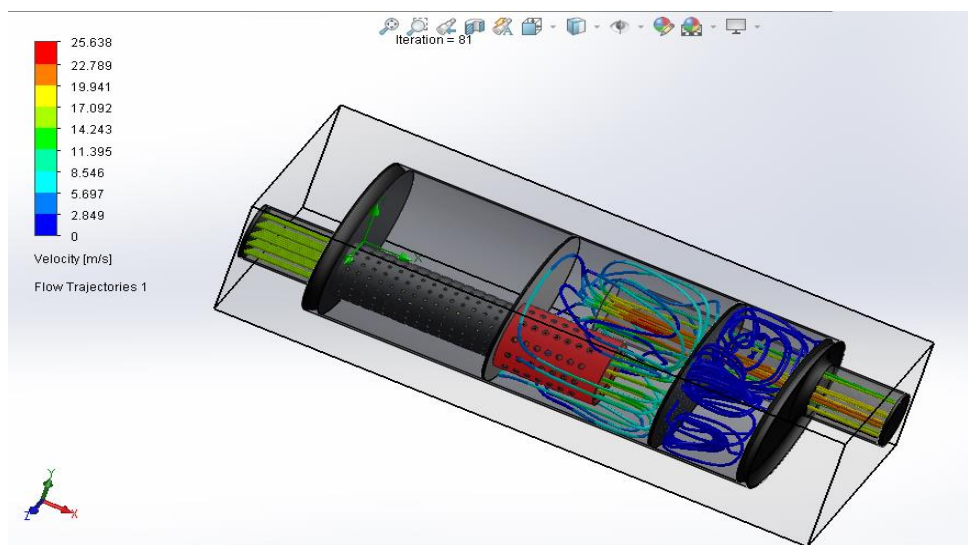


FIGURA 3.7 Flujo de velocidad

La figura 3.7 muestra cómo se reduce la velocidad del fluido (color azul) en la tercera cámara, lo que supone que el material absorbente es esencial en esta configuración de silenciador.

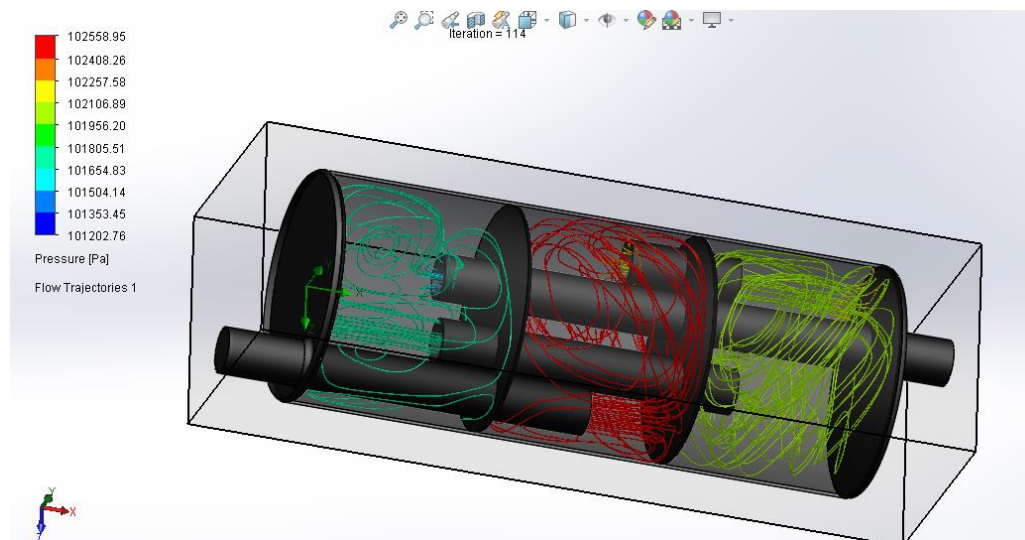


FIGURA 3.8 Flujo de presión

Para la figura 3.8 la presión incrementa en la cámara intermedia debido a que se encuentra toda la configuración de tubos que por donde el gas hace su recorrido tanto de ingreso y salida.

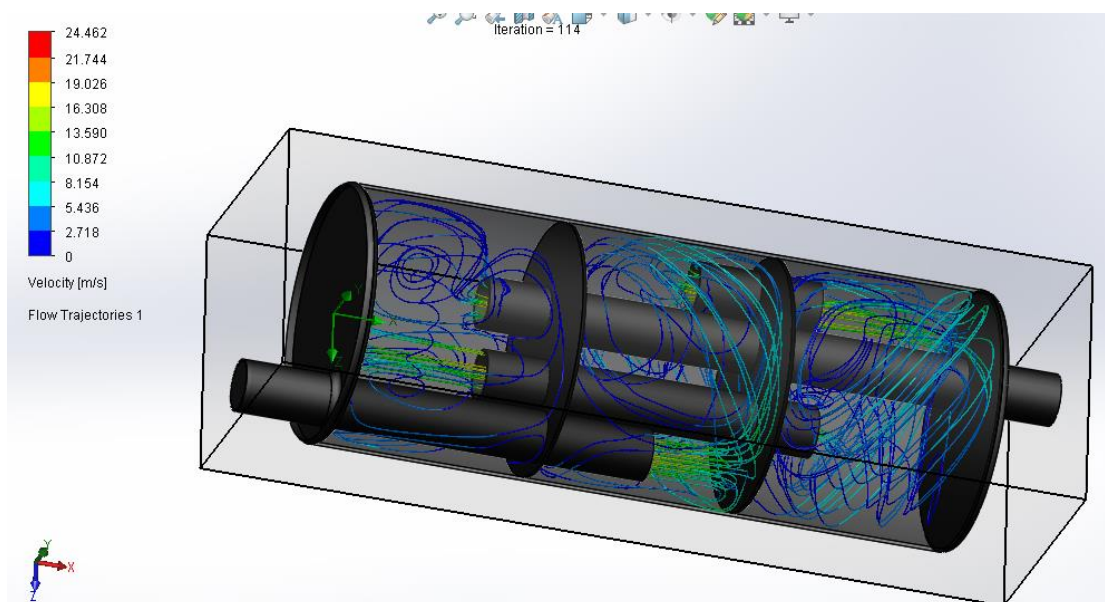


FIGURA 3.9 Flujo de velocidad

La velocidad de fluido disminuye en las dos cámaras laterales como se muestra en la figura 3.9 esto se debe a que el gas se va debilitando desde su ingreso en la cámara central.

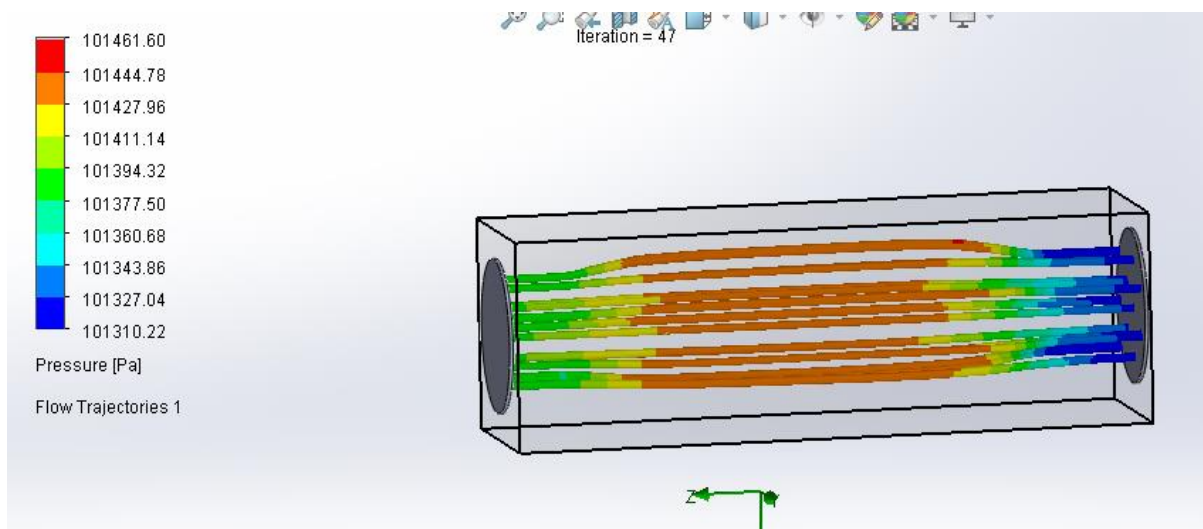


FIGURA 3.10 Flujo de presión

En la figura 3.10 se detalla cómo es el comportamiento de la presión del gas, el cual no tiene mayor variación debido a una sola tubería con perforaciones.

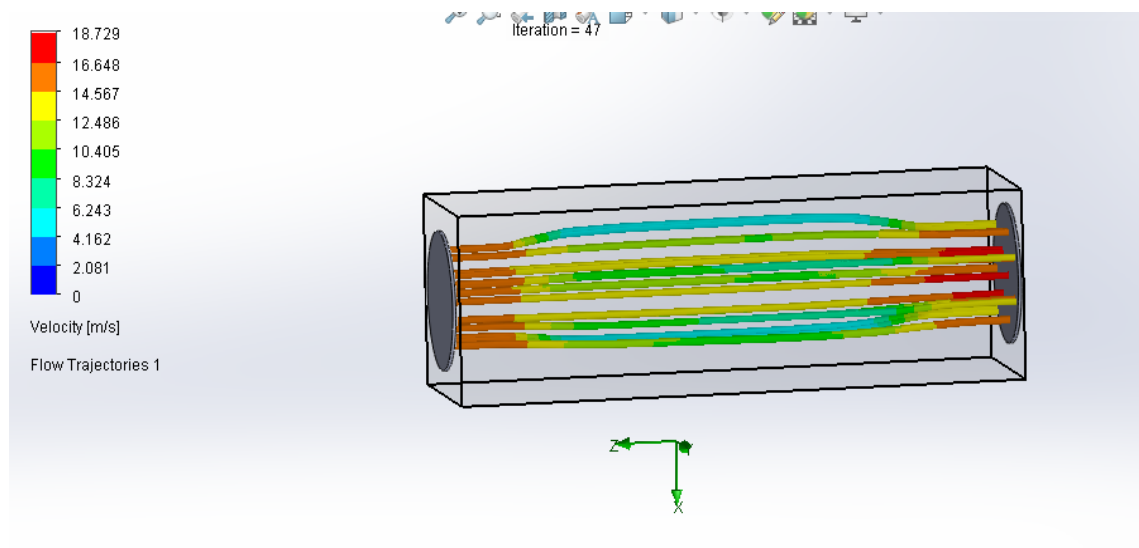


FIGURA 3.11 Flujo de velocidad

La figura 3.11 muestra la simulación de la velocidad del fluido por el silenciador tipo Bala, donde no existe mayor variación en su ingreso y salida.

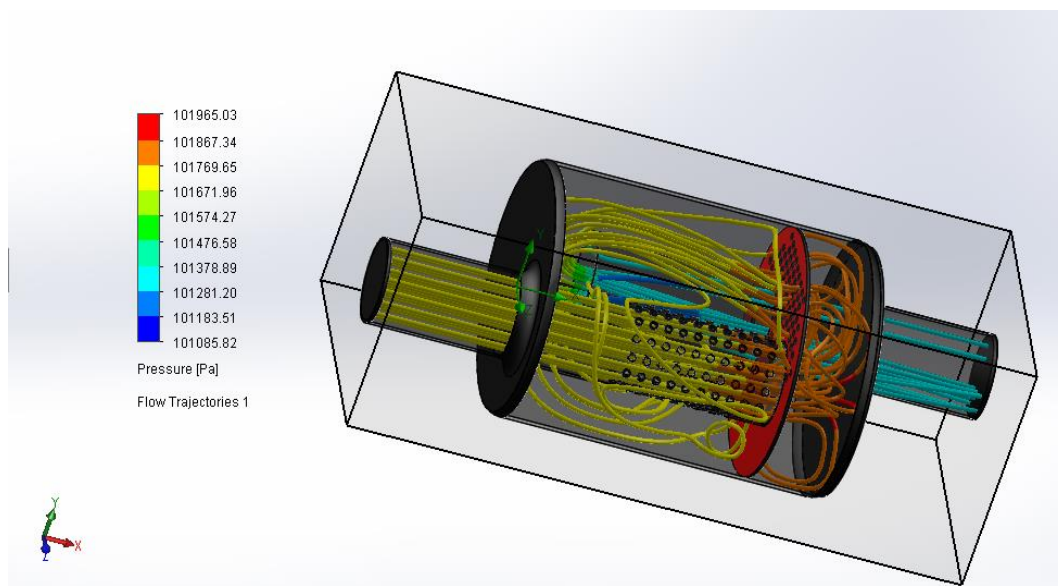


FIGURA 3.12 Flujo de presión

En la figura 3.12 se puede visualizar de color anaranjado como la presión aumenta en la segunda cámara lo que supone que el gas sufrirá reducción en la frecuencia de ondas y como resultado en la salida el gas a disminuido la presión de manera considerable.

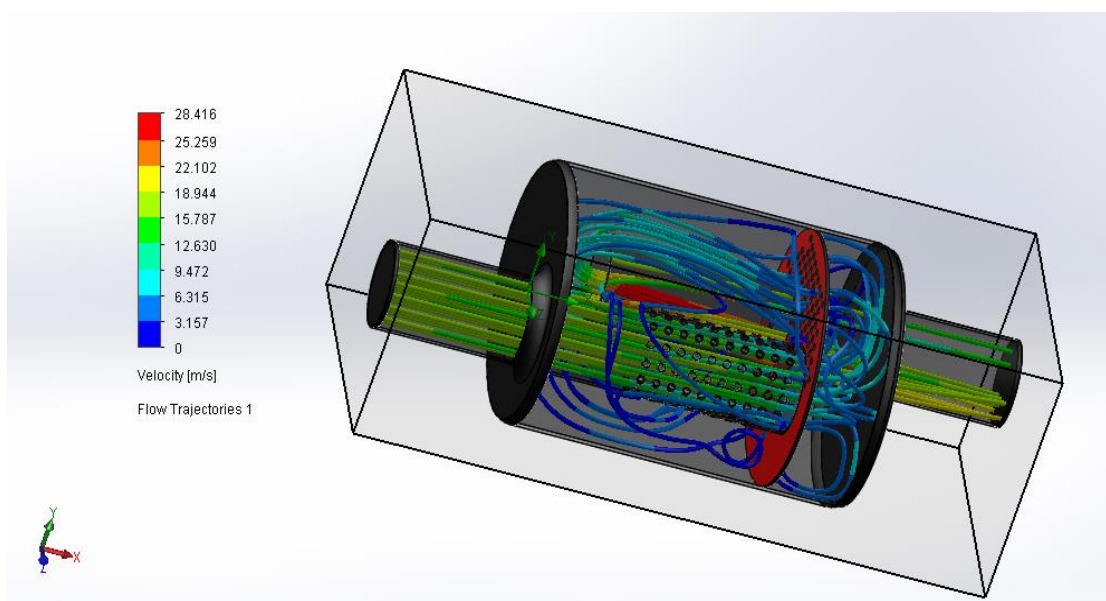


FIGURA 3.13 Flujo de velocidad

Para la figura 3.13 la velocidad del gas se mantiene al ingreso debido a que el tubo perforado funciona como guía para el recorrido del gas y mínimas cantidades de gas salen por los orificios de esta tubería y luego el fluido se impacta con la segunda cámara debilitándose su velocidad.

Por otra parte, para el análisis del flujo de salida se tomo el valor del flujo volumétrico $0,0313 \text{ m}^3/\text{s}$ y se ingreso en caudal volumétrico de entrada (Inlet Volume Flow) y de esta manera coincidir con la teoría que la misma cantidad de aire que entra debe ser la misma a salida, como se observa en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Perdida de caudal del flujo volumétrico

Tipo	Valor
Silenciador cilíndrico reactivo	$-0,0344 \text{ m}^3/\text{s}$
Silenciador ovalado híbrido	$-0,0378 \text{ m}^3/\text{s}$
Silenciador bala- absorbente	$-0,0313 \text{ m}^3/\text{s}$
Silenciador Down Sized-reflectante	$-0,0314 \text{ m}^3/\text{s}$

Una vez establecidas todas las condiciones para un análisis de perdida de presión, se puede visualizar los resultados de manera gráfica y numérica como se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Perdida de presión

TIPO	VALOR
Silenciador cilíndrico reactivo	6,976 Pa
Silenciador ovalado híbrido	2,629 Pa
Silenciador bala- absorbente	0,731 Pa
Silenciador Down Sized-reflectante	2,723 Pa

Con los datos recopilados de esta prueba ejecutada en el software podemos observar que el silenciador cilíndrico reactivo tiene la mayor pérdida de presión con un valor de 6,976 Pa mientras que el silenciador bala-absorbente es aquel que refleja el valor más bajo con 0,731 Pa.

3.2 PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SILENCIADORES

Para la fabricación de los silenciadores se utilizó materiales con medidas adecuadas los cuales serán explicados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Materiales Utilizados

Cantidad	Material	Tamaño	Espesor
1	Plancha de Tol	2,40 x 1,20 m	1/16 – 0,0014 m
1	Tubo de Acero	3 m	0,0508 m
1	Tubo de Acero	3 m	0,0889 m
1	Lana de vidrio	2 m	0,005 m

Estos materiales son utilizados en la construcción de la mayoría de los silenciadores que se encuentran en el mercado, entre los materiales que más resaltan son la plancha de tol por su gran resistencia a altas temperaturas y el material atenuante como es la lana de vidrio haciendo que el ruido tenga una variación en su medida.

3.2.1 PROCESO DE SEÑALIZACIÓN DEL MATERIAL

Este es el proceso más importante y principal, dado que con ayuda de los planos computacionales ya realizados tenemos las medidas correspondientes para realizar las diferentes piezas de los silenciadores, por ello es importante considerar los siguientes pasos:

- Se utiliza un marcador permanente para realizar las medidas pertinentes con ayuda de un flexómetro y de una regla grande de tal manera que se pueda evidenciar las medidas para el corte, para el barolado entre otros procesos.
- En el taller se encontraron todos los moldes necesarios para realizar las tapas, con ayuda de la prensa para obtener una forma correcta y adecuada.
- Para realizar la medida de la cámara de expansión se analizó previamente el espacio que existía en el vehículo y la forma que quedaría a la perfección en ese espacio, puede ser cilíndrica, ovalada o incluso triangular.



FIGURA 3.14 Señalización de bridas

Como se observa en la figura 3.14 con un marcador permanente de color negro se realiza la señalización del molde para las bridas, tapas y medidas de corte para el cuerpo de los silenciadores.

3.2.2 PROCESO DE CORTE DE LA LÁMINA

Este proceso se realizó con mucha precaución, dado que puede ocasionar daños permanentes o de gravedad por eso es importante aprender a utilizarlos con todas las normas de seguridad pertinentes, por ello, se debe fijar ciertos pasos para proceder a realizar este proceso.

- Para cortar la lámina se utilizó una herramienta básica conocida como cizalla de banco que ayuda a obtener cortes rectos y precisos.
- Con la ayuda de la amoladora se eliminan pequeños residuos del material para que tenga un mejor acabado.
- Para realizar los huecos de los conductos de entrada y salida de las tapas se utilizó una perforadora de tol, con un molde específico de acuerdo a la medida especificada de los conductos.
- Cuando está todo el corte realizado se procede con una sierra manual o incluso con la amoladora eliminar los bordes externos que quedan para que sea simétrico en el cuerpo del silenciador, también en sus tapas.



FIGURA 3.15 Corte de lámina por cizalla de banco

Como se observa en la figura 3.15 el proceso de corte de las láminas y tapas es generado por una cizalla de banco para un corte con precisión.

3.2.3 PROCESO DE BAROLADO PARA EL CUERPO DEL SILENCIADOR.

Este proceso también se conoce como el doblado, de tal manera que la lámina adquiere la forma del silenciador que se desee, esta puede ser cilíndrica, triangular u ovalada. Por eso se consideró varios pasos para realizar este proceso.

- Para comenzar con este proceso se utilizó una baroladora mecánica la cual permite generar la forma deseada del silenciador.
- En primer lugar, se debe ajustar la baroladora al mismo tiempo con los tornillos de ajuste laterales, de tal manera que cuando ingrese la lámina cortada genere la misma presión en todos los lados mientras pasa por los tubos rodantes.
- Por otra parte, con la lámina entre los tubos rodantes, se procedió a girar la rueda de mando en movimientos de derecha a izquierda para obtener el doblado necesario.
- Mientras mejor nivelada este la baroladora mecánica la lámina tendrá un mejor acabado.



FIGURA 3.16 Baroladora mecánica

Como se observa en la figura 3.16 para dar forma al cuerpo del silenciador se utiliza una baroladora mecánica.

3.2.4 PROCESO DE PENSADO PARA LAS TAPAS DE LOS SILENCIADORES

Para este proceso se necesitó moldes con la medida necesaria para darle la forma correcta a las tapas de los lados del silenciador, con la ayuda de una prensa hay que realizar la forma que necesaria para los silenciadores, por lo tanto, efectuar los siguientes pasos más importantes para realizar este proceso.

- En primer lugar, se coloca la lámina previamente cortada en el molde.
- Con la ayuda de la prensa aplicando una presión de 20 toneladas se realizó las tapas de los silenciadores, el molde ayuda a tener la forma y la medida correcta de los silenciadores.
- Los moldes varían de acuerdo al silenciador que se desee construir, cuando no existe el molde se toma la medida de acuerdo al tamaño del cuerpo de la cámara de expansión para poder señalarlo y hacer a las medidas adecuadas.



FIGURA 3.17 Prensa para crear las placas deflectoras de los silenciadores

Como se observa en la figura 3.17 la prensa es una maquina industrial capaz de generar los moldes de las tapas para cada uno de los silenciadores.



FIGURA 3.18 Molde para las tapas de los silenciadores

Como se observa en la figura 3.18 existen moldes de acuerdo al tipo de forma del silenciador a realizar, en este caso fue ovalado.

3.2.5 PROCESO DE CORTE PARA LAS TUBERÍAS

Para realizar este proceso se utilizó una amoladora que permite realizar los cortes de los tubos con ayuda de un tornillo de banco para sostener y mantenerlos fijos.

- Es importante tomar la medida correspondiente de los tubos de acuerdo al silenciador, de esa manera se optimiza el uso del material.
- Una vez realizada la medida se debe ubicar los tubos en el tornillo de banco para una mayor fijación.
- Con ayuda de la amoladora ejecutar los cortes pertinentes en el tubo.
- Con ayuda de otro disco pulir los bordes para tener un mejor acabado del corte realizado.



FIGURA 3.19 Tornillo de banco para sujetar los tubos de corte

Como se observa en la figura 3.19 el tornillo de banco ayuda a sujetar los tubos para realizar los cortes pertinentes de acuerdo a la medida tomada.



FIGURA 3.20 Amoladora con disco de corte para tubos

Como se observa en la figura 3.20 la amoladora como herramienta de corte para los tubos de los conductos de salida y con un disco de pulir para definir la estética del silenciador.

3.2.6 PROCESO DE PERFORACIÓN EN LAS TUBERÍAS

Para realizar este proceso es necesario tener un taladro pedestal para realizar las perforaciones de una manera rápida y eficaz. Al momento de realizar las perforaciones se consideró medidas de acuerdo a la longitud de la tubería y el diámetro de las perforaciones considerando el número de perforaciones.

- El taladro pedestal tiene un movimiento de arriba hacia abajo y viceversa, de tal manera que con la broca colocada debe tener la medida deseada la cual fue de 4,76 mm es decir 3/16" para cada perforación. Con la medida de cada perforación la distribución de las demás estaban relacionadas entre sí a una distancia de 4 mm.
- Con la utilización de este taladro el acabado del trabajo es de mejor calidad y en un corto tiempo.
- Es importante analizar que la broca debe ser la de mayor costo, porque las más económicas tienden a romperse mientras están en trabajo continuo.



FIGURA 3.21 Taladro pedestal para perforación de tubos

Como se observa en la figura 3.21 el taladro pedestal con la medida de la broca generan perforaciones de manera rápida y con un acabado mejor.

3.2.7 PROCESO DE SOLDADURA Y UNIÓN.

Todo el proceso de unión y suelda se realizó con el tipo de suelda MIG, con un alambre 70S-6 de 0,8 mm asegurando trabajos libres de porosidades.

- Se coloca las placas con los tubos de los conductos de entrada y salida para poder fijarles posteriormente.
- Una vez colocada las partes en su lugar, se procede a soldar con el alambre de suelda # 8 para que la suelda tenga un mejor acabado.
- Se soldó la cámara de expansión todo esto se lo realizó por medio de la lámina doblada y se la envuelve alrededor de la estructura interna anteriormente soldada.
- Una vez terminado la cámara de expansión con la estructura interna se colocan las tapas en los extremos del silenciador de tal manera que serán soldadas con el fin de obtener la forma adecuada.
- Este proceso se repite para los tres silenciadores excepto el silenciador deportivo tipo bala dado que su estructura interna es de un tubo de 88,9 mm lo cual lo único que se soldó fueron las copas de los conductos de entrada y salida de 50,8 mm.

- Este tipo de suelda trabajo con CO₂, la cual puede trabajar a una presión de 700 a 720 PSI, de acuerdo al espesor del material.
- El amperaje que se utilizó fue de 75 A considerando siempre el espesor con el que se trabajó como la lámina fue de 1,58 mm es decir 1/16” ese fue el amperaje correcto para su trabajo.
- Una vez realizado el proceso de suelda, verificar que tenga un proceso de sellado hermético y sin huecos que generen filtraciones de ruido y gases.



FIGURA 3.22 Suelda MIG

Como se observa en la figura 3.22 la suelda MIG genera un acabado de mejor calidad en cada uno de los silenciadores.



FIGURA 3.23 Alambre de suelda #8

Como se observa en la figura 3.23 el alambre número 8 de la suelda MIG es el correcto para este tipo de acabado de mejor calidad.

3.2.8 PROCESO DE CORTE CON PLASMA PARA LAS BRIDAS.

Este proceso es fundamental para la union del silenciador con el tubo de escape del vehiculo.

- Se comenzó con la señalización de la brida en una lámina de 6 mm de espesor, considerando el diámetro del conducto del tubo de escape y del conducto de entrada del silenciador.
- Luego de esto se procedió a realizar corte con plasma con la señalización realizada en la lámina para obtener la forma de la brida y del orificio central de los conductos. Es importante tener guantes de seguridad, dado que al cortar con plasma la pieza tendra alta temperatura.
- Con la ayuda de un cincel se realizó el golpe en la señalización donde iran los pernos de 1-1/8 para sujetar las bridas.
- Una vez realizada el corte y los huecos de los pernos, con la amoladora pulir los extremos para tener un mejor acabado de la brida.
- Una vez realizada la brida se procede a adquirir un empaque considerando el diámetro interno del conducto y los orificios de los pernos para una mejor sujeción.
- Finalmente con la suelda MIG, soldar la brida al conducto de entrada del silenciador y la otra brida en el tubo de escape para que la sujeción sea segura y pueda ser remplazada en los demás silenciadores.



FIGURA 3.24 Máquina para corte de plasma

Como se observa en la figura 3.24 la máquina de plasma para cortar con facilidad una lámina de tol de espesor más gruesa.

3.2.9 PROCESO DE SUELDA DE LOS TUBOS CON LOS CONDUCTOS.

Este proceso es muy importante porque se utilizó de igual manera la suelda MIG para lograr alargar el conducto de salida con un tubo directo.

- Una vez que realizado el silenciador en su totalidad, se procedió a colocar en el vehículo, se considera que este tipo de copas ayudan a posicionar de mejor manera la colocación del silenciador.
- Se toma la medida desde el conducto de salida del silenciador hasta los sujetadores que posee el vehículo considerando una distancia de 3 cm por fuera del guardafangos.
- Se procede a cortar los tubos del mismo diámetro de 50,8 mm que es el conducto de salida para que no tenga ninguna modificación externa.
- Cuando se termina de soldar, se procede a colocar nuevamente para verificar si es necesario realizarle alguna modificación más, si no es así se procede a fijarlo.



FIGURA 3.25 Suelda de los conductos con el silenciador

Como se observa en la figura 3.25 los conductos de entrada y salida soldados por el costado de las tapas.

3.2.10 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE SUJETADORES.

En este proceso de fabricó dos sujetadores de acuerdo al área donde se aloja el silenciador y como complemento se utilizó los colgantes originales del vehículo.

- En primer lugar, medir la distancia entre el silenciador y los orificios del sujetador para proceder a cortar un pedazo de alambre galvanizado.
- Con la medida tomada se realizó unos dobleces para adquirir la forma y poder hacerlo en la varilla.
- Con ayuda de una dobladora de tubos se realizó el molde que se tomó anteriormente.
- Una vez realizado el molde para cada silenciador se procede a soldar en el conducto de salida de los silenciadores para que no se mueva y tampoco pueda caer.



FIGURA 3.26 Dobladora de tubos y varillas

Como se observa en la figura 3.26 la dobladora de tubos para los sujetadores de los silenciadores.

3.2.11 PROCESO DE PINTURA.

Este es el paso final de la construcción de los silenciadores.

- Se consideró pintar todos los silenciadores de color negro, tomando en cuenta que el tipo de pintura soporte las altas temperaturas al cual trabaja el silenciador.

- Se pintó de color negro brillante y con plata cromado, estos tienen propiedades para soportar altas temperaturas y darle un acabado estético brillante y de calidad.

3.3 PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS

El propósito principal de esta prueba es obtener medidas de potencia y par motor que entrega el vehículo a su potencia máxima establecida por el fabricante según la ficha técnica. Las pruebas dinámicas fueron realizadas en el taller de mecánica de patio de la Universidad Técnica del Norte del campus “El Olivo” utilizando, el dinamómetro de marca Vamag BPA-V2R con características anteriormente mencionadas en el apartado de equipos y herramientas.

3.3.1 PRUEBAS TORQUE Y POTENCIA

Se realizó cinco pruebas en el dinamómetro para cada uno de los silenciadores fabricados considerando que el corte de la inyección e ignición se lo realiza a 6 000 rpm. De tal manera que se pueda obtener un valor con mayor precisión, consecutivamente se realizó un promedio entre todas las medidas obtenidas y se graficaron los valores obtenidos de las pruebas dinámicas para evaluar las curvas de torque-potencia del motor, como se observa en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Tabla de resultados de pruebas dinámicas

TIPO	Potencia Máxima (HP)	Par Motor Máximo (Nm)
Tubo Directo	69,20	99,03
Silenciador Cilíndrico Reactivo	60,24	88,38
Silenciador Ovalado Híbrido	61,10	86,52
Silenciador Bala	60,60	85,30
Silenciador Down Sized	59,66	85,00

Con los datos obtenidos al realizar las pruebas en el dinamómetro, se aprecia que el tubo directo genera una potencia de 69,20 HP y un par motor de 99,03 Nm, así pues, se tienen los primeros valores que permitirán hacer una comparativa con los prototipos diseñados. No obstante, el silenciador ovalado híbrido en potencia es el que mejor trabaja con un valor de 61,10 HP, por otro lado, en lo que se trata de par motor el silenciador cilíndrico reactivo realiza un óptimo funcionamiento con un valor de 88,28 Nm.

3.3.2 CURVAS DE TORQUE Y POTENCIA

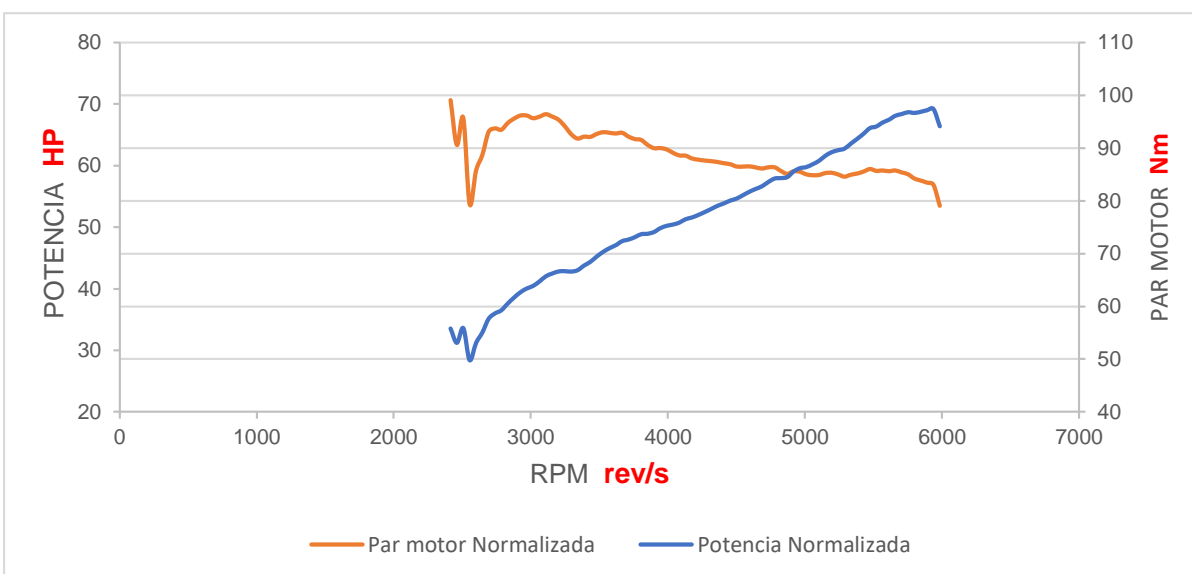


FIGURA 3.27 Curva de potencia y par motor del tubo directo

Como se observa en la figura 3.27 las curvas características de potencia y par motor del tubo directo, que se realizaron en el dinamómetro con una velocidad constante en la aceleración del vehículo, como valor máximo de potencia tenemos 69,20 Hp y un par motor de 99,03 Nm. Es importante mencionar que las revoluciones fueron incrementándose hasta el punto de corte de 6 000 rpm.

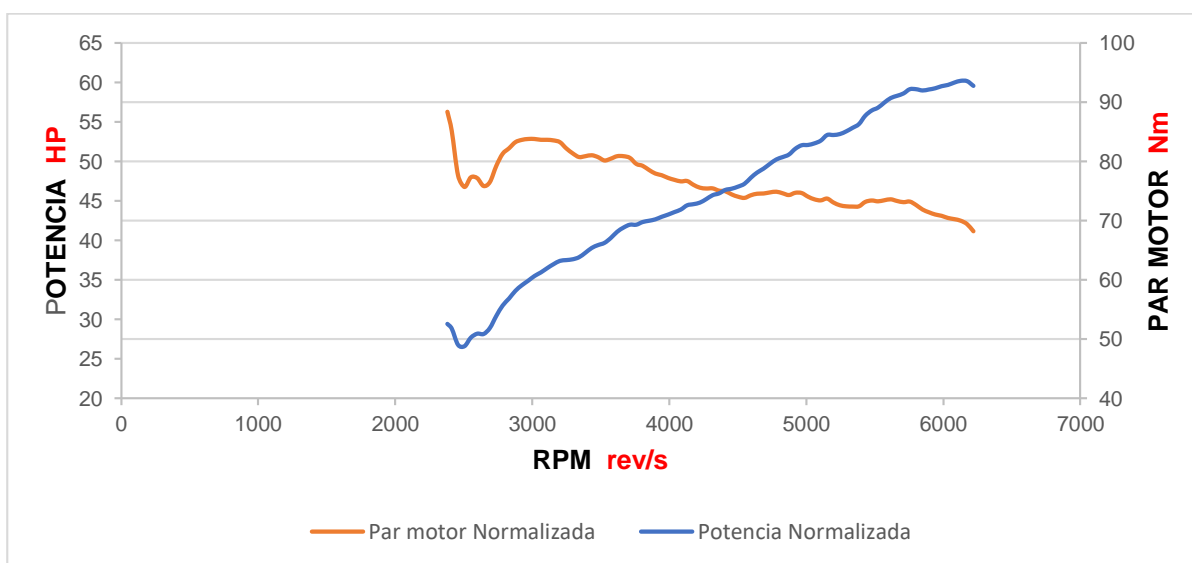


FIGURA 3.28 Curva de potencia y par motor del silenciador cilíndrico

Luego de evaluar los resultados obtenidos de las pruebas en el dinamómetro para el silenciador cilíndrico se puede observar en a la figura 3.28 la potencia máxima alcanzada que es de 60,24 Hp y el par motor alcanza un valor de 88,38 Nm.

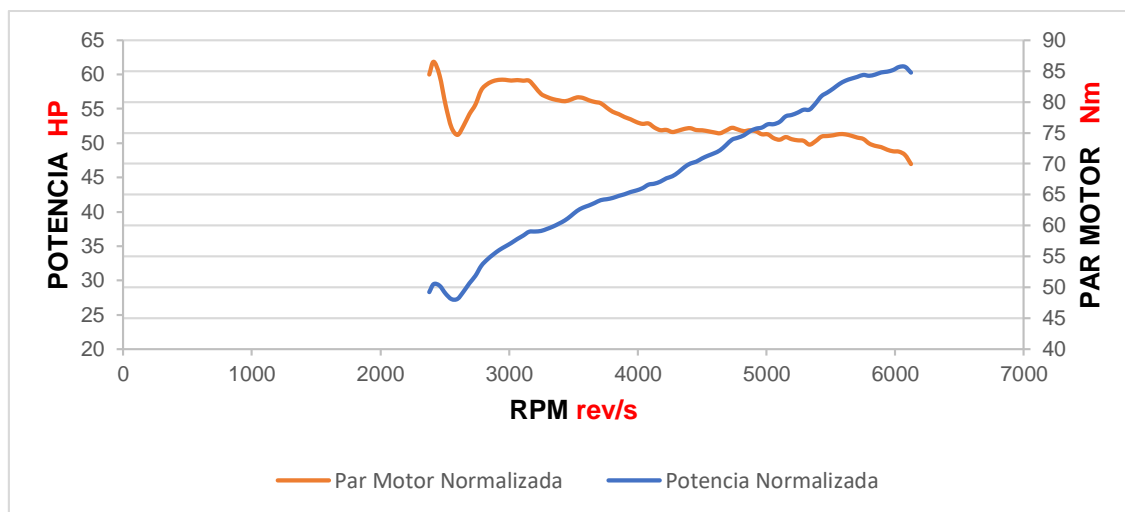


FIGURA 3.29 Curva de potencia y par motor del silenciador ovalado híbrido

En la figura 3.29 se muestra las gráficas de curvas de potencia y par donde el resultado final es un valor máximo de potencia tenemos 61,10 Hp y un par motor de 86,52 Nm hasta los 6 000 rpm como punto de corte de la aceleración.

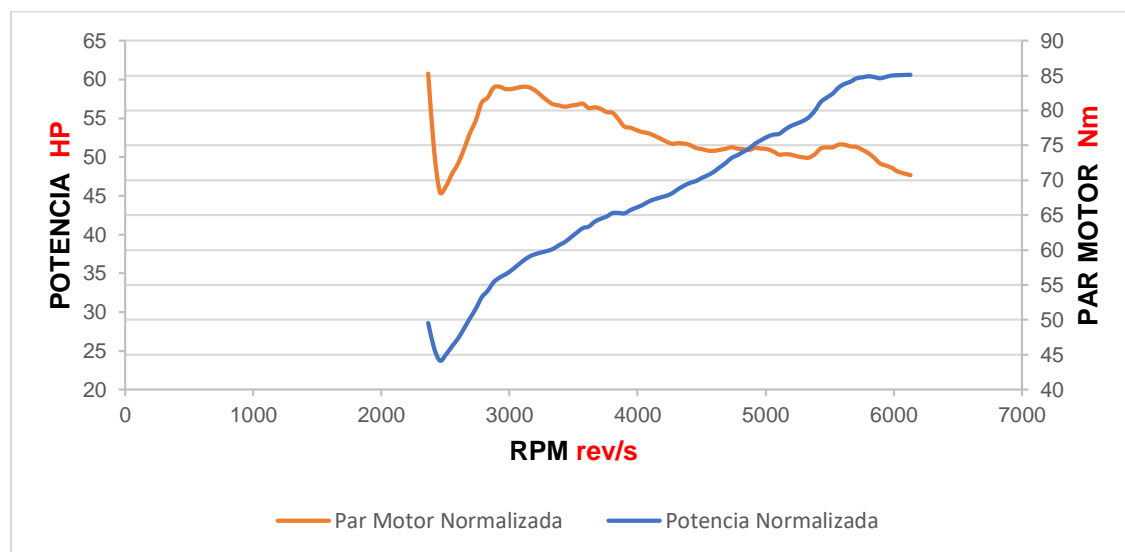


FIGURA 3.30 Curva de potencia y par motor del silenciador bala

En la figura 3.30 se puede observar los resultados de las pruebas dinamométricas aplicadas al silenciador bala obteniendo como resultados que valor máximo de potencia tenemos 60,60 Hp y un par motor de 85,30 Nm.

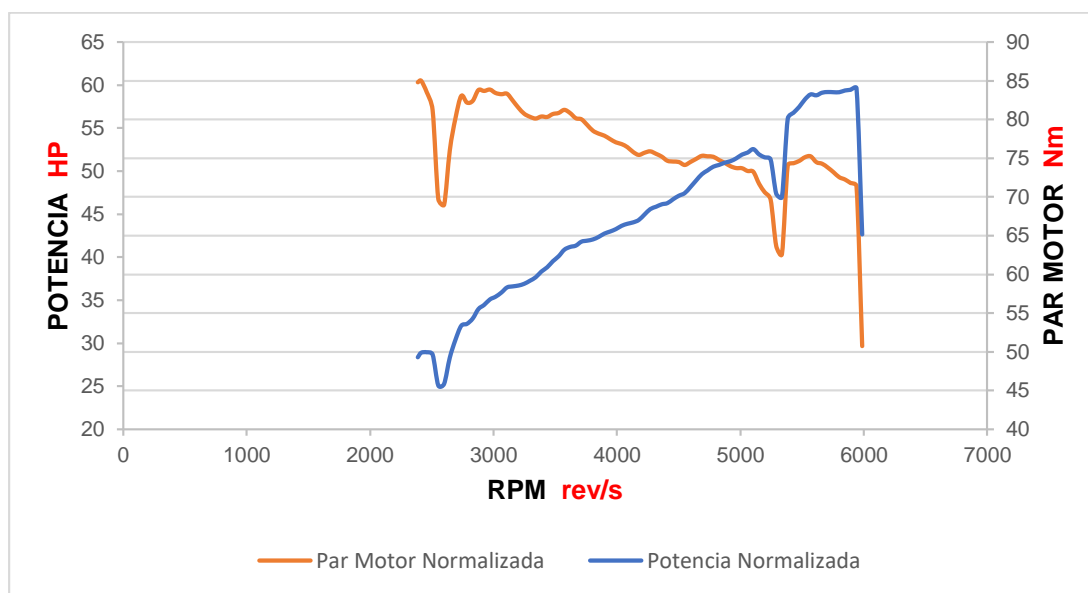


FIGURA 3.31 Curva de potencia y par motor del silenciador Down Sized

En las pruebas realizadas al silenciador Down Sized se obtuvo los siguientes resultados como lo muestra la figura 3.31, un valor máximo de potencia tenemos 59,66 Hp y un par motor de 85,00 Nm.

3.4 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES

3.4.1 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS

Para estas pruebas se utilizó el equipo Brain Bee modelo AGS-688 que se encuentra en el taller de mecánica de patio de la Universidad Técnica del Norte del campus "El Olivo", este equipo genera valores de CO, CO₂, HC, O₂ y Lambda todos estos gases son los que se analizaron además los resultados impresos por el equipo se encuentran en el apartado de Anexos.

3.4.2 ANÁLISIS TOTAL DE EMISIONES DE GASES DE ESCAPE

Las pruebas que se realizó a cada uno de los silenciadores son valores en los cuales se obtuvieron un promedio y una estimación adecuada sobre los datos que se tomaron con respecto al vehículo

corsa Wind 1.4L, es importante recalcar que estos elementos fueron tomados sin ningún elemento que genere tratamiento en los gases, es decir un escape directo. Al ser un vehículo de competencia podemos entender que tiene varias modificaciones para el incremento de su potencia, de tal manera que los valores obtenidos no se asemejan a las de un vehículo estándar que no ha sufrido ninguna modificación propia. El combustible utilizado es Extra con 85 octanos. Como referencia se toma en cuenta el tubo directo del escape, ya que no posee ninguna adecuación, por ende, se tomó como base para el análisis respectivo de los gases obtenidos de cada uno de los cuatro silenciadores construidos, como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Resultados gases en ralentí

VALORES Y MEDIDAS	TUBO DIRECTO	SILENCIADOR CILINDRICO REACTIVO	SILENCIADOR OVALADO HÍBRIDO	SILENCIADOR DEPORTIVO TIPO BALA	SILENCIADOR DOWN SIZED
RPM (1/min)	938	994	982	928	916
CO % Vol	3,79	1,84	1,27	2,82	1,06
CO2 % Vol	7,84	5,18	3,94	8,28	13,46
HC ppm/Vol	188,21	87,21	61,81	183	227,41
O2 % Vol	8,63	15,71	17,05	9,47	2,61
LAMBDA	1,48	2,43	3,03	1,82	1,08

En las pruebas de ralentí que se realizó se toma en cuenta las revoluciones promedias obtenidas a partir de cada prueba de tal manera que se encuentra una gran diferencia en algunos datos. Por otro lado, en la tabla 3.7 se puede apreciar los resultados de los gases a 2 500 rpm.

Tabla 3.7 Resultados gases a 2 500 rpm

PARÁMETROS	TUBO DIRECTO	SILENCIADOR CILINDRICO REACTIVO	SILENCIADOR OVALADO HÍBRIDO	SILENCIADOR DEPORTIVO TIPO BALA	SILENCIADOR DOWN SIZED
RPM (1/min)	2 522	2 518	2 548	2 520	2 502
CO % Vol	7,634	7,636	5,986	8,168	0,578
CO2 % Vol	9,94	9,58	10,18	9,68	14,7
HC ppm/Vol	304,2	298,6	210,8	258,8	110,8
O2 % Vol	0,904	1,822	0,978	0,974	1,438
LAMBDA	0,82	0,852	0,9516	0,8108	1,0432

Las pruebas que se realizaron a 2 500 rpm, se obtuvo varios datos en los cuales se reflejó una variación leve en los resultados. Es importante considerar que el vehículo no logró mantener una aceleración constante por este motivo, la variación de los resultados finales.

3.5 ANÁLISIS DE NIVELES DE RUIDO

3.5.1 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS

Para estas pruebas se utilizó el Sonómetro Digitech, modelo QM1592 que se encuentra el taller de mecánica de patio de la Universidad Técnica del Norte del campus “El Olivo” con la ayuda de este equipo se obtuvo datos de los niveles de ruido que generaban con cada uno de los silenciadores, este equipo genera valores en decibels, todos los resultados realizados se encuentran en Anexos.

3.5.2 ANÁLISIS TOTAL DE NIVELES DE RUIDO DE LOS SILENCIADORES

Ubicando el sonómetro a la distancia, altura y ángulo establecido por normativa para medición de ruidos en el ambiente, se procedió a tomar cinco mediciones para cada tipo de silenciador diseñado a la salida del silenciador de escape. Al ser un vehículo de competencia podemos entender que tiene varias modificaciones para el incremento de su potencia, de tal manera que los valores obtenidos no se asemejan a las de un vehículo estándar que no ha sufrido ninguna modificación propia. El combustible utilizado es Extra con 85 octanos. Como referencia se toma en cuenta el tubo directo del escape, ya que no posee ninguna adecuación, por ende, se tomará como base para el análisis respectivo de los niveles de ruido obtenidos de cada uno de los cuatro silenciadores construidos, como se muestra en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Resultados de los niveles de ruido

RPM	TUBO DIRECTO	SILENCIADOR CILINDRICO REACTIVO	SILENCIADOR OVALADO HÍBRIDO	SILENCIADOR DEPORTIVO TIPO BALA	SILENCIADOR DOWN SIZED
950	103,20	86,16	89,26	95,30	95,20
6000	105,84	100,70	100,76	102,68	102,18

En los promedios obtenidos en cada una de las pruebas que fueron realizadas se considera un valor de ralentí de 950 rpm en el cual el silenciador cilíndrico reactivo tiene una atenuación del

ruido a 86,16 Db siendo este el más silencioso entre los cuatro prototipos. Por otro lado, a 6 000 rpm considerando este al pico máximo el mismo silenciador con un valor de 100,70 Db logra atenuar el ruido generado por el vehículo en comparación con los demás.

3.6 DISCUSIÓN

3.6.1 PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS

En las pruebas dinámicas se realizó un promedio total, considerando que se tomó cinco pruebas para tener un valor adecuado de acuerdo a cada medición de cada uno de los silenciadores.

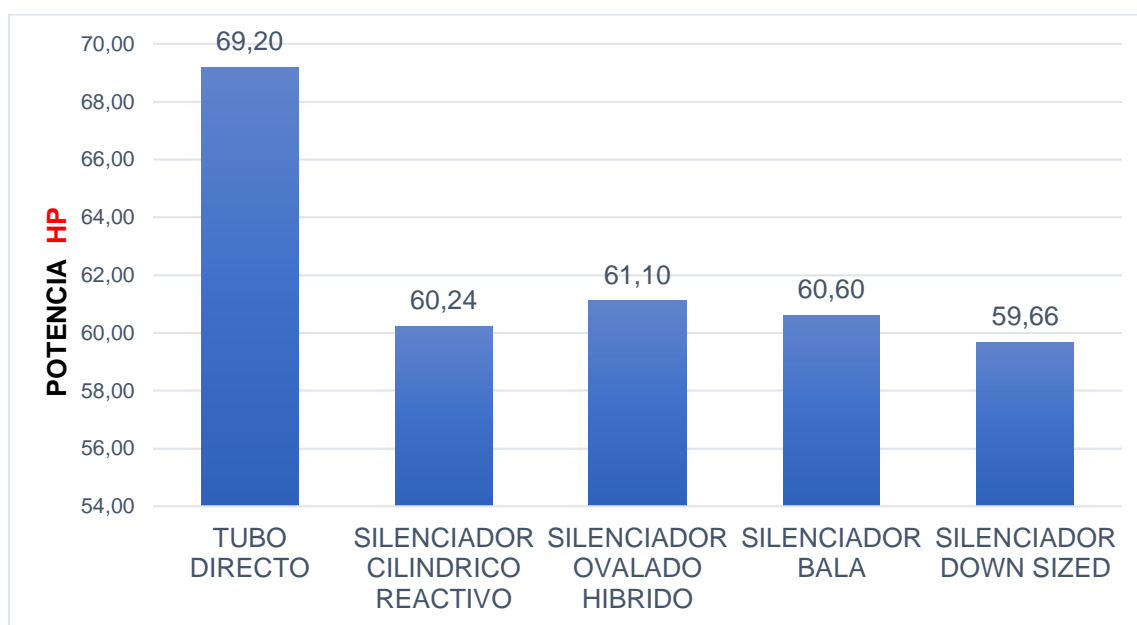


FIGURA 3.32 Resultados de potencia máxima

Como se observa en la figura 3.32 estos son los resultados de potencia máxima que se obtuvo de las pruebas dinámicas con cada uno de los silenciadores. Es importante considerar que el parámetro de comparación con cada uno de los silenciadores es el tubo directo es por eso que se tomaron en cuenta los valores indicando que el silenciador cilíndrico reactivo tiene una reducción del 12,94% en comparación con el tubo directo es decir pierde potencia de manera considerable, por otro lado el silenciador ovalado híbrido tiene una reducción del 11,70% un poco menos que el primer silenciador pero también pierde potencia el vehículo, sin embargo el silenciador deportivo tipo bala tiene también una reducción del 12,42% una pérdida de potencia

notoria al tubo directo y a los otros dos silenciadores, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción mayor al de todos los silenciadores con un valor del 13,78% una pérdida de potencia considerable dentro del vehículo. Es por eso que se consideró que el silenciador que mejor rendimiento en cuanto a potencia es el silenciador ovalado híbrido.

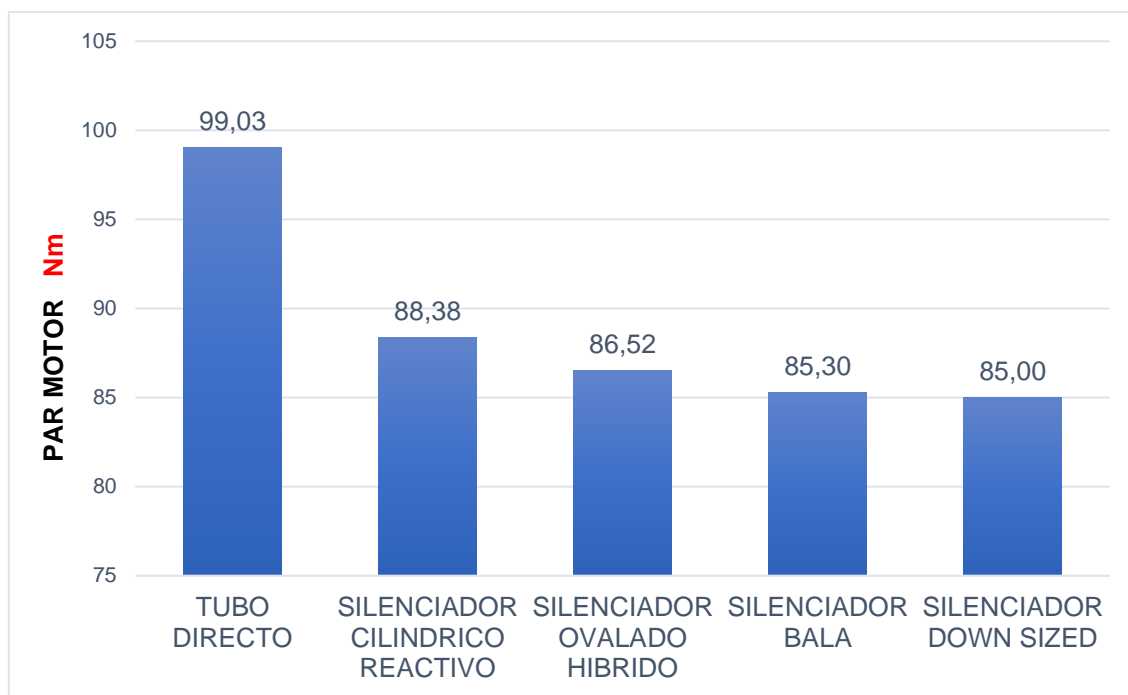


FIGURA 3.33 Resultados de par motor máximo

Como se observa en la figura 3.33 estos son los resultados de par motor máximo que se obtuvo de las pruebas dinámicas con cada uno de los silenciadores. Al igual que la prueba anterior el valor de comparación fue el tubo directo es por eso que el silenciador cilíndrico tiene una reducción del 10,75% en comparación con el tubo directo, por otro lado el silenciador ovalado híbrido tiene una reducción del 12,63% una pérdida mayor en comparación con el primer silenciador, sin embargo el silenciador deportivo tipo bala tiene también una reducción del 13,86% una pérdida mayor en comparación con los otros silenciadores, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción mayor al de todos los silenciadores con un valor del 14,16 % una pérdida de torque considerable dentro del vehículo. Es por eso que se consideró que el silenciador que mejor rendimiento en cuanto a par motor es el silenciador cilíndrico, con un porcentaje referente a los otros silenciadores.

3.6.2 PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES

Las pruebas que se realizaron están basadas en dos mediciones con respecto al vehículo, se realizó en ralentí a 950 rpm y a 2 500 rpm.

- **RALENTI**

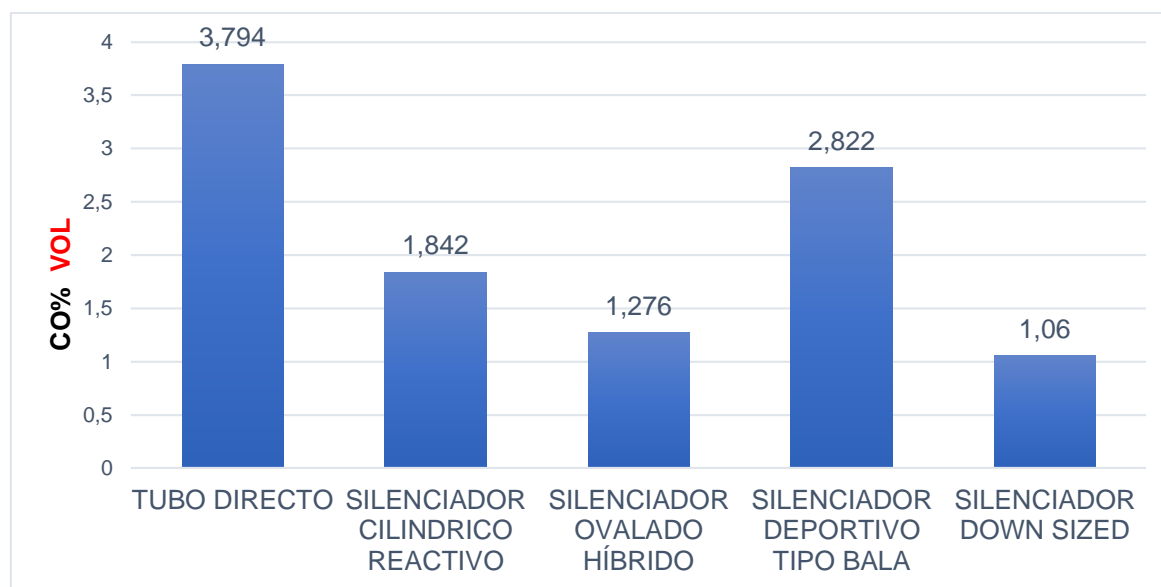


FIGURA 3.34 Resultados de CO en ralentí

Como se puede apreciar en la figura 3.34 sobre el valor de medida del Monóxido de Carbono (CO), se tomó como base el tubo directo en el cual se tomaron los valores base para realizar la comparación con cada uno de los silenciadores, en el silenciador cilíndrico reactivo se apreció que existe una reducción considerable de 51,44 % , sin embargo el silenciador ovalado híbrido con una reducción de 66,36% trabaja de mejor manera en el vehículo en comparación con el valor principal del tubo directo, por otro lado el silenciador deportivo tipo bala tubo una reducción leve con un valor de 25,61% es más alto que los dos primeros silenciadores e indicando que al tener una estructura directa genera un valor más alto, pero con la ayuda del material atenuante como es la lana de vidrio se verifica una diferencia al valor base, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción con un valor de 72,06% indica un funcionamiento más eficiente en este tipo de gas.

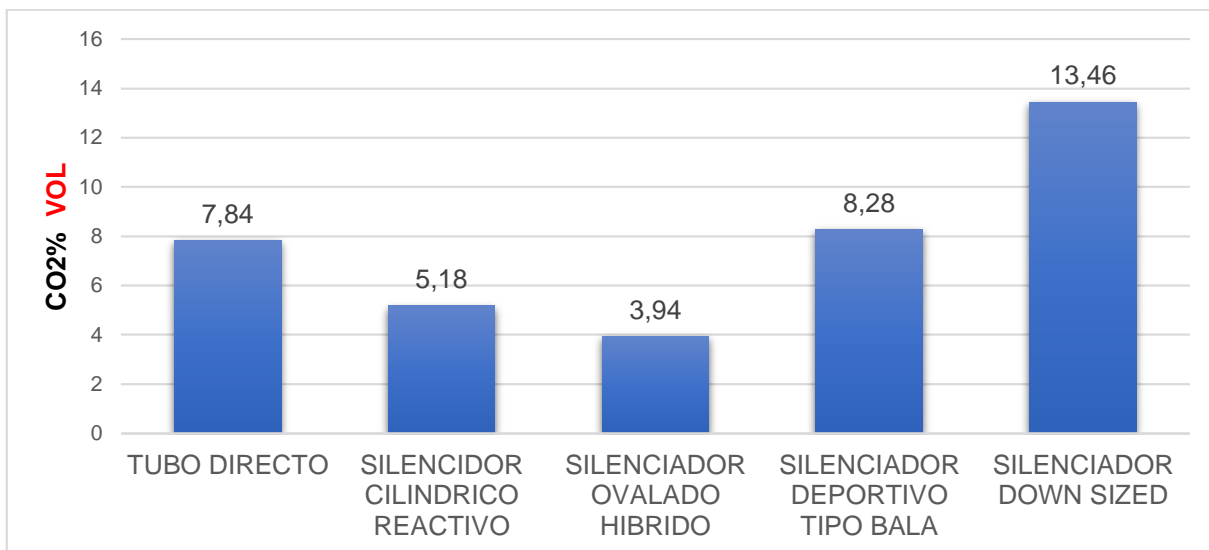


FIGURA 3.35 Resultados de CO2 en ralentí

Como se puede apreciar en la figura 3.35 sobre el valor de medida del Dióxido de Carbono (CO₂), se tomó como base el tubo directo en el cual se tomaron los valores base para realizar la comparación pertinente es por eso que en el silenciador cilíndrico reactivo existe una reducción considerable de 33,92 % , sin embargo el silenciador ovalado híbrido con una reducción de 49,74% , por otro lado el silenciador deportivo tipo bala genero un aumento leve con un valor de 5,61%, finalmente el silenciador Down Sized tiene una variación en el aumento con un valor de 71,68% indica que por su estructura reducida los niveles de CO₂ son menos tratados en el interior de la cámara de expansión.

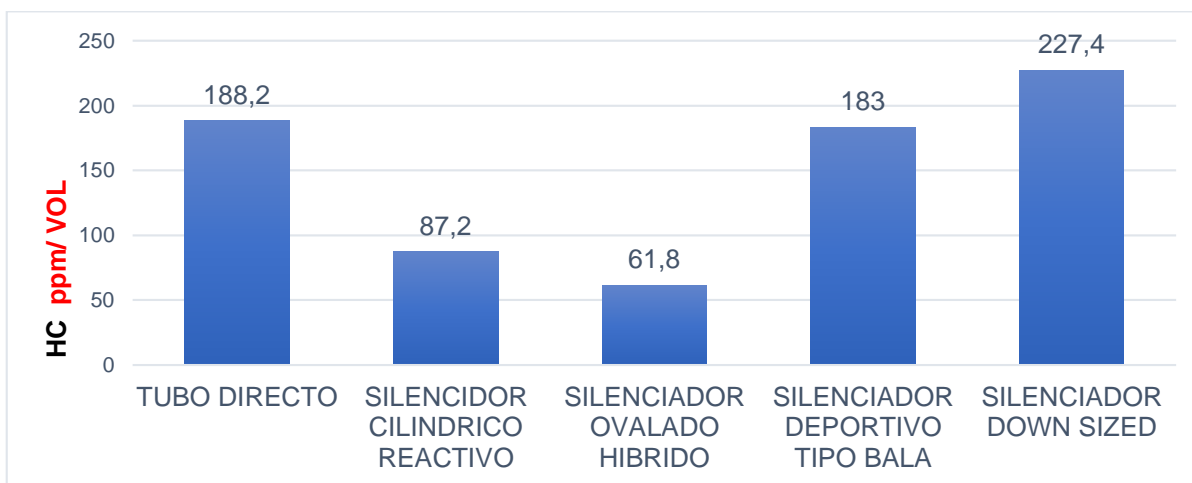


FIGURA 3.36 Resultados de HC en ralentí

Otra medida fue la de los hidrocarburos (HC) como se puede apreciar en la figura 3.36, el tubo directo es el valor base para realizar la comparación, el silenciador cilíndrico reactivo dio una reducción de 53,66 % , sin embargo el silenciador ovalado híbrido con una reducción de 67,16% trabaja de mejor manera en el vehículo, por otro lado el silenciador deportivo tipo bala tubo una reducción de 2,76%, finalmente el silenciador Down Sized tiene un gran aumento con un valor de 20,82% indica que por su estructura reducida los niveles de HC no son procesados en la cámara de expansión y por la falta del catalizador en el vehículo tienden a tener valores totalmente diferentes dentro del analizado de gases.

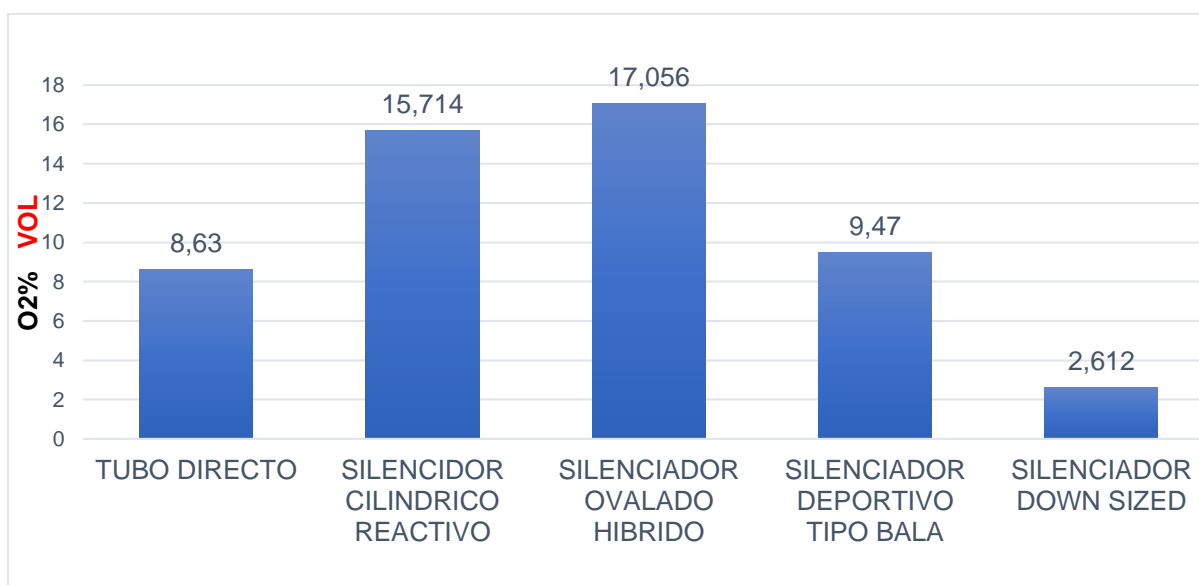


FIGURA 3.37 Grafica de resultados de O₂ en ralentí

Otra medida fue la del Oxígeno (O₂) como se puede apreciar en la figura 3.37, como valor base se tomara en cuenta el tubo directo, el silenciador cilíndrico reactivo generó un aumento de 82,08 % en referencia al valor base, sin embargo el silenciador ovalado híbrido con un aumento de 97,63% mayor que el valor base y el primer silenciador, por otro lado el silenciador deportivo tipo bala tubo una aumento leve de 9,73% una diferencia pequeña en comparación al valor base, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción con un valor de 69,73% es importante considerar que en estos valores un valor alto genera una mezcla pobre, normalmente el valor debe mantenerse en un promedio neutro para no afectar el rendimiento del vehículo durante el proceso de trabajo concreto.

- **2 500 RPM**

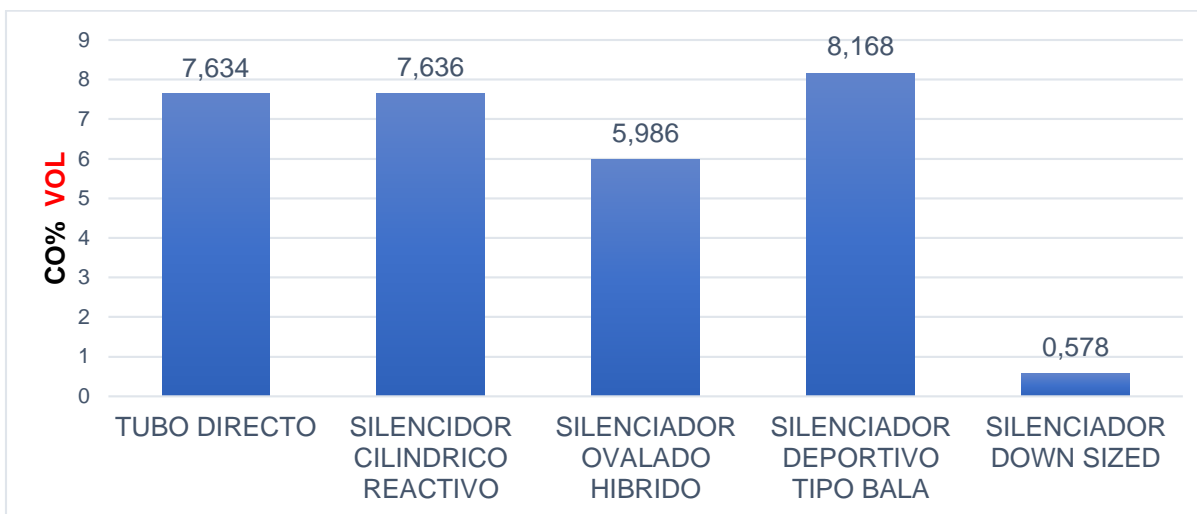


FIGURA 3.38 Resultados de CO a 2 500 rpm

Como se puede apreciar en la figura 3.38 sobre el valor de medida del Monóxido de Carbono (CO), se tomó como valor base el tubo directo en el cual será el punto de comparación con cada uno de los silenciadores a 2 500 rpm, el silenciador cilíndrico reactivo es igual al valor referencial con 0,02 % , mientras que el silenciador ovalado híbrido con una reducción de 21,59% , por otro lado el silenciador deportivo tipo bala refleja un aumento con un valor de 6,99%, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción con un valor de 92,43% indica un funcionamiento más eficiente en este tipo de gas.

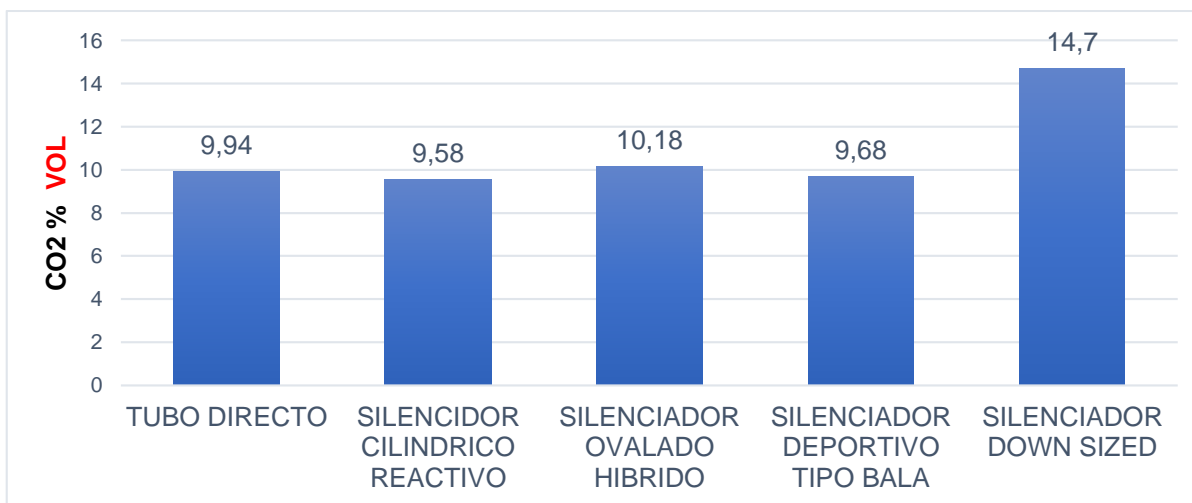


FIGURA 3.39 Resultados de CO2 a 2 500 rpm

Como se puede apreciar en la figura 3.39 sobre el valor de medida del Dióxido de Carbono (CO₂) a 2 500 rpm. En primer lugar el silenciador cilíndrico reactivo con un valor de reducción de 3,62 % , sin embargo el silenciador ovalado híbrido con un aumento de 2,41% tiene un incremento en comparación con el valor principal del tubo directo, por otro lado el silenciador deportivo tipo bala tubo una reducción con un valor de 2,61%, finalmente el silenciador Down Sized tiene un gran aumento con un valor de 47,88% indica que por su estructura reducida los niveles de CO₂ son menos tratados en el interior de la cámara de expansión y también por la falta del catalizador en el vehículo.

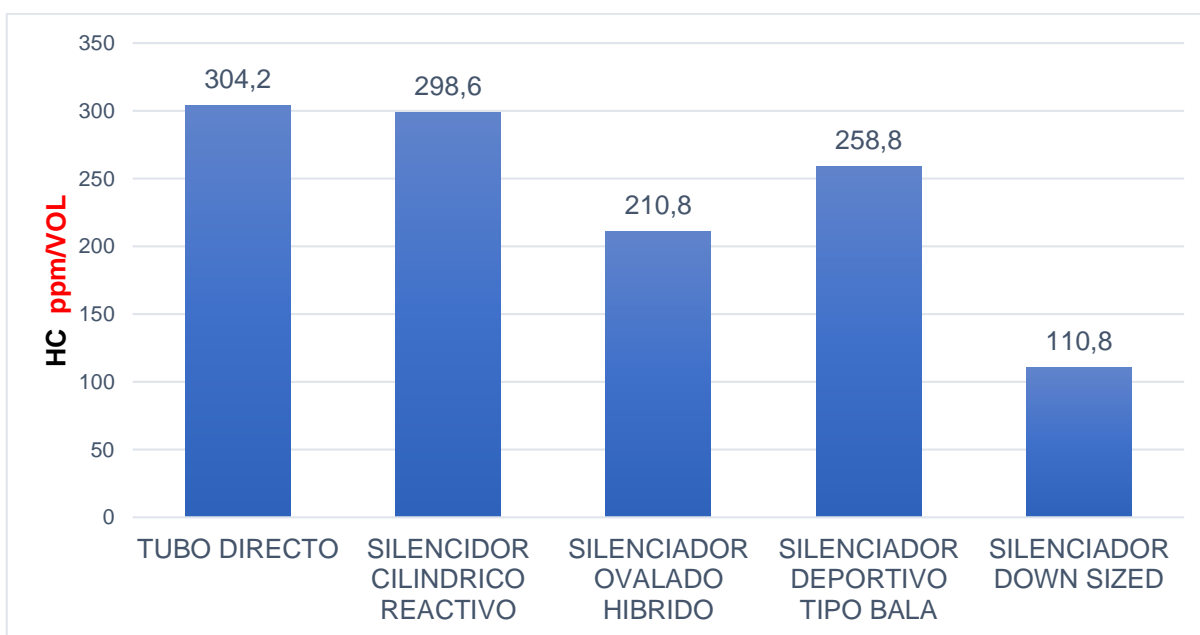


FIGURA 3.40 Resultados de HC a 2 500 rpm

Otra medida fue la de los hidrocarburos (HC) como se puede apreciar en la figura 3.40 a 2 500 rpm. El silenciador cilíndrico reactivo dio un valor de 1,84 % , sin embargo el silenciador ovalado híbrido con una reducción de 30,70% por otro lado el silenciador deportivo tipo bala tubo una reducción con un valor de 14,92% se consideró que este valor es generado por su estructura directa, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción con un valor de 63,57% indica que por su estructura reducida los niveles de HC a 2 500 rpm trabaja de manera eficiente en la cámara de expansión.

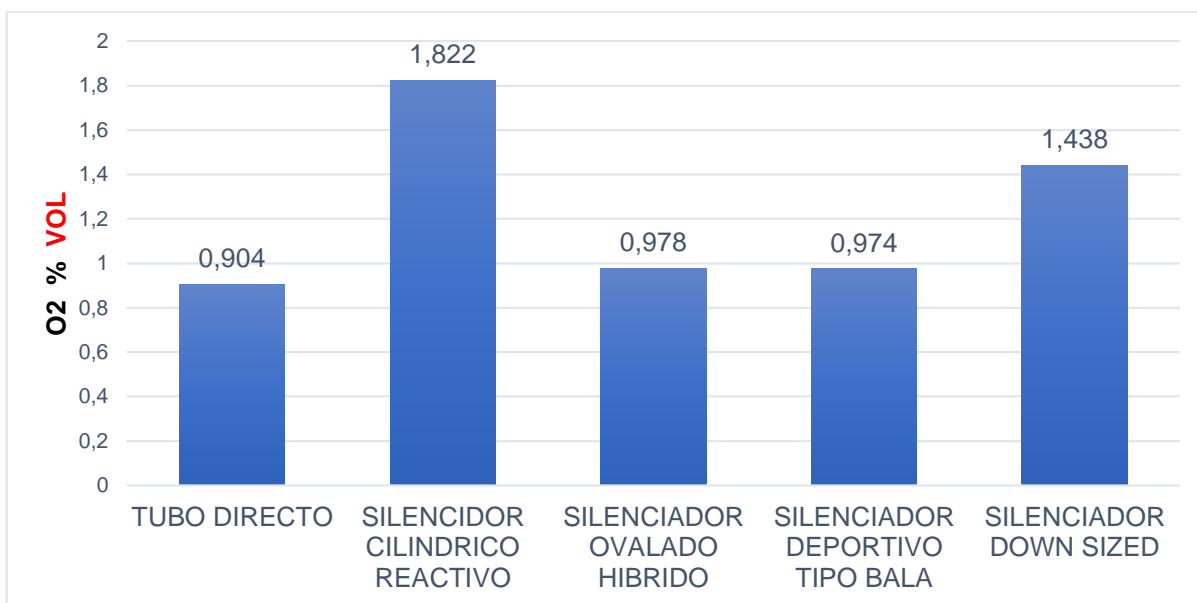


FIGURA 3.41 Grafica de resultados de O2 a 2 500 rpm

Otra medida fue la del Oxígeno (O₂) como se puede apreciar en la figura 3.41, a 2 500 rpm y con valor base el tubo directo se tuvo los siguientes valores, el silenciador cilíndrico reactivo tuvo un valor que refleja un aumento de 101,54 % , sin embargo el silenciador ovalado híbrido con un aumento de 8,18%, mientras que el silenciador deportivo tipo bala tubo una aumento demasiado leve con un valor de 7,74% no genera mucha diferencia en comparación con el tubo directo, finalmente el silenciador Down Sized refleja un aumento considerable con un valor de 59,07%.

3.6.3 PRUEBAS DE ANÁLISIS DE RUIDO

En las pruebas que se realizó se tomaron en cuenta las revoluciones promedias obtenidas a partir de cada prueba de tal manera que se encuentra una gran diferencia en algunos datos. Con la ayuda del sonómetro, considerando los parámetros para la toma de medidas es importante respetar las condiciones del manual del fabricante, en las que constan la distancia de la salida del silenciador, el ángulo y sobre todo la altura del suelo hasta el punto de medida para una obtención adecuada de los valores exactos sin que exista variación.

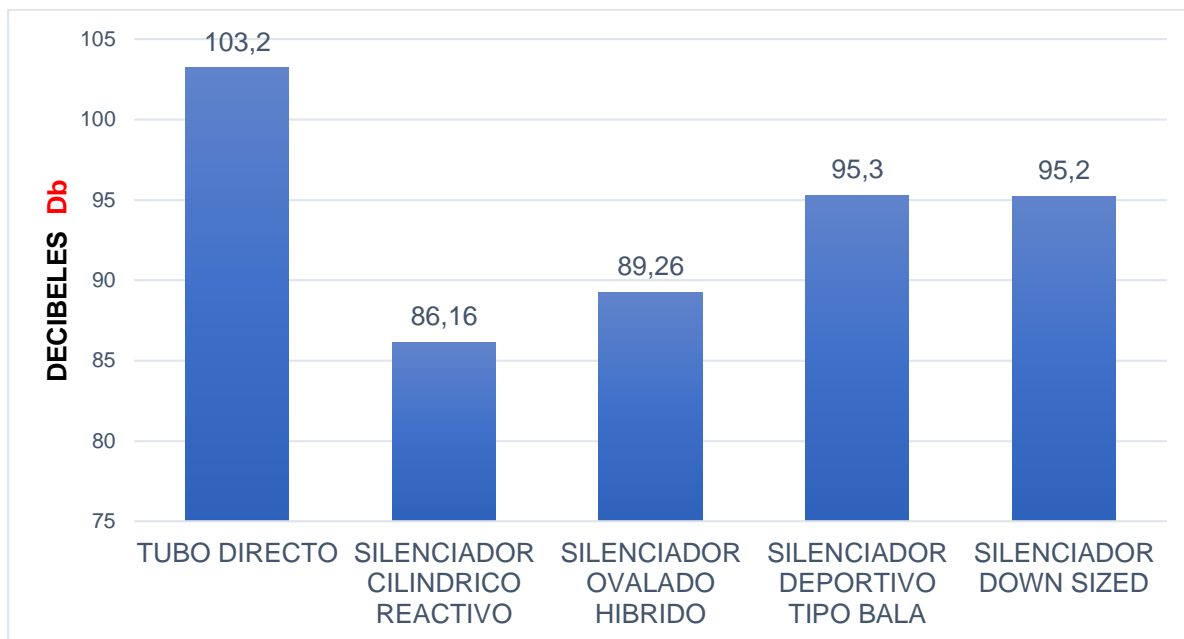


FIGURA 3.42 Resultados de ruido en ralentí

Como se puede apreciar en la figura 3.42 se tomaron los valores promedios de las pruebas a ralentí es decir 950 rpm, que se realizó con ayuda del equipo, en primer lugar tenemos como índice de comparación al tubo directo para tener un valor referencial es por eso que el silenciador cilíndrico reactivo con una reducción de 16,51 %, mientras que el silenciador ovalado híbrido en consideración al valor referencial tiene una reducción de 13,50% que es una reducción de decibeles promedio en comparación con el tubo directo , es importante recalcar que el silenciador deportivo tipo bala al tener una estructura directa tiene una reducción leve en comparación con el tubo directo siendo este de 7,65 % en la disminución de decibeles siendo este el que más ruido genera a pocas revoluciones, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción de 7,75 en la disminución de decibels con diferencia al valor base. Por lo cual se estima que a bajas revoluciones el silenciador que menos ruido genera es el silenciador cilíndrico reactivo y el que más ruido genera es el silenciador deportivo tipo bala.

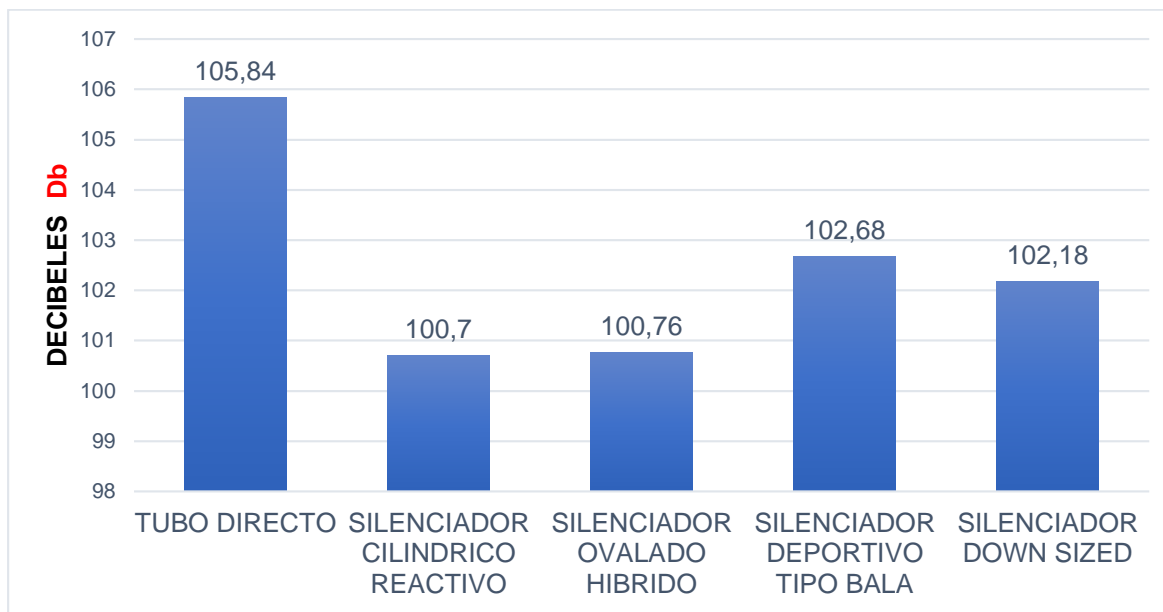


FIGURA 3.43 Resultados de ruido a 6 000 rpm

Como se puede apreciar en la figura 3.43 se tomaron en consideración los valores promedios de las pruebas a 6 000 rpm considerando este el punto de corte, realizadas con ayuda del equipo cabe destacar que el tubo directo es el valor base de comparación. Para empezar el silenciador cilíndrico reactivo tiene un valor de reducción de 4,85 % sin embargo, el silenciador ovalado híbrido en consideración al valor base tiene una reducción de 4,79%. Así mismo el silenciador deportivo tipo bala refleja una reducción del 2,98 %, finalmente el silenciador Down Sized tiene una reducción de 3,45% en la disminución de decibels con diferencia al valor base. Por lo cual se estima que a bajas revoluciones el silenciador que menos ruido genera es el silenciador cilíndrico reactivo y el que más ruido genera es el silenciador deportivo tipo bala.

3.7 ANÁLISIS DE COSTOS

Para realizar un análisis de costo se consideró dos aspectos importantes los cuales son los costos directos e indirectos de tal manera que estuvieron reflejados en la construcción de los cuatro silenciadores con un costo total para poder desarrollar y construir. Con esto normaliza una idea clara del costo total del servicio hacia los diferentes usuarios.

3.7.1 COSTOS DIRECTOS

Entre los costos directos están considerando los materiales que se utilizó para la fabricación de los cuatro silenciadores, como se detalla en la tabla 3.9

Tabla 3.9 Costos directos de los materiales utilizados

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	Lámina de tol 1/16	60,00	60,00
1	Lámina de tol 6 mm	30,00	30,00
1	Tubo de acero 2 in	14,00	14,00
1	Tubo de acero 3.5 in	23,00	23,00
1	Alambre de suelda #8	32,00	32,00
2	Empaques Bidas	2,50	5,00
1	Spray Evans	2,50	2,50
1	Varilla #8	10,00	10,00
1	Disco de pulir	7,00	7,00
1	Disco de corte	3,00	3,00
1	Broca 3/16	6,00	6,00
4	Colgantes de caucho	2,50	10,00
2	Pernos 1-1/8	0,25	0,50
1	Rollo Lana de Vidrio	22,00	22,00
TOTAL			225,00

Los materiales principales para la construcción de los cuatro tipos de silenciadores fueron adquiridos en la ciudad de Ibarra a costos accesibles, encontrando con facilidad y sobre todo

son materiales de buena calidad y resistencia a altas temperaturas. La elección de los materiales fue de acuerdo a las necesidades de plasmar silenciadores de buena calidad y larga vida útil.

3.7.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos hacen referencia a los gastos generales que fueron necesarios para poder realizar la fabricación de los cuatro silenciadores como se muestra en la tabla 3.10 en la que esta explicado de manera detallada los valores de gastos.

Tabla 3.10 Costos indirectos

Descripción	Costo
Transporte	15,00
Otros	10,00
TOTAL	25,00

Los costos indirectos fueron sumamente leves tomando en consideración que las distancias del taller hacia los locales comerciales para adquirir los materiales estaban en su mayoría cerca, por lo cual la inversión no fue tan costosa.

3.7.3 COSTOS TOTALES

Los costos totales hacen referencia al valor total entre los costos directos y los costos indirectos como se muestra en la tabla 3.11

Tabla 3.11 Costos totales

Descripción	Costo
Costos Directos	225,00
Costos Indirectos	25,00
TOTAL	250,00

El costo total de fabricación fue de 250,00 dólares incluyendo los costos directos que en este caso fueron los materiales y costos indirectos que fueron transporte, comida y movilización el valor es accesible considerando que se fabricación cuatro tipos de silenciadores con un precio excelente y con materiales de calidad.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Mediante la utilización del software CFD de diseño y simulación se logró identificar que las variables que influyen en la atenuación del ruido que produce un motor de encendido provocado es la distribución de las cámaras y los conductos por donde el aire circula, el silenciador cilíndrico reactivo, tuvo la mayor caída de presión de 6,976 Pa que, dicho de otra manera, el gas va perdiendo presión en todo su viaje por el interior del silenciador.

Se diseñó cuatro silenciadores con diferentes sistemas de atenuación para verificar el comportamiento de los gases de escape dentro de los mismos mediante simulación CFD, para lo cual se aplicó las condiciones de borde con la velocidad promedio de 15,98 m/s al ingreso del silenciador y el flujo volumétrico de 0,0313 m³/s.

Se fabricó cuatro silenciadores de acuerdo a los diseños validados en la simulación CFD con un costo promedio por silenciador de 62,50 dólares, mismos que se encuentran acorde a los precios del mercado local.

En las pruebas dinamométricas que se realizaron en el vehículo se consideró que el silenciador ovalado híbrido redujo 11,70 % de potencia respecto al tubo directo, sin embargo, en el par motor el silenciador cilíndrico reactivo redujo el torque en 10,75%. En la prueba de nivel de ruido en ralentí a 950 rpm, el silenciador cilíndrico reactivo redujo el 16,51% de ruido respecto al tubo directo, por otro lado, a 6 000 rpm, el que menos ruido generó fue el mismo silenciador logrando una disminución de 4,85%. En cuanto a las pruebas de gases de Monóxido de Carbono (CO) en ralentí el silenciador Down Sized es el que mejor funcionamiento tiene con una reducción considerable de este gas de 72,06% y con el mismo silenciador en 2 500 rpm 92,43%. Por otro lado, en los Dióxidos de Carbono (CO₂) en ralentí el silenciador ovalado híbrido realiza un trabajo importante con una reducción del 49,74% pero a 2 500 rpm el silenciador deportivo tipo bala tiene una reducción del 3,62% generando un mejor trabajo. Sin embargo, los Hidrocarburos (HC) en ralentí el que mejor trabajo desempeña es el silenciador ovalado híbrido con una reducción de 67,16% y en 2 500 rpm el silenciador Down Sized genera una reducción

de 63,57%. Finalmente, en Oxígeno (O₂) el que mejor trabajo realiza en ralentí es el silenciador Down Sized con un valor de 69.73% y a 2500 rpm el silenciador deportivo tipo bala tuvo un aumento en este valor de 7,74%.

4.2 RECOMENDACIONES

El diseño de los silenciadores en Solidworks debe ser simétrico, considerando que para obtener las trayectorias de velocidad y presión debe ser cerrado por los dos conductos de entrada y salida, evitando que exista una pérdida de presión considerable y haciendo que los valores sean diferentes a los reales.

Para las condiciones de borde que se requiere aplicar en la simulación CFD es necesario realizar los cálculos de velocidad promedio y flujo volumétrico de acuerdo a los valores exactos del motor de encendido provocado.

Para obtener un producto de buena calidad, con buen acabado superficial, menor costo y menor tiempo de trabajo se recomienda el proceso de soldadura MIG. Además, para la fabricación de los silenciadores es importante verificar el espacio disponible en el vehículo y durante su construcción utilizar todos los equipos de seguridad industrial para evitar accidentes.

A fin de obtener resultados fiables durante el desarrollo de los ensayos experimentales en el dinamómetro, analizador de gases de escape y sonómetro es necesario verificar que se encuentren calibrados de acuerdo a las normativas existentes, así como también se debe desarrollar las pruebas según los protocolos sugeridos para cada equipo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AGROREDES. (8 de OCTUBRE de 2016). *LANA DE VIDRIO* . Obtenido de LANA DE VIDRIO: https://grupo-ap.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/Lana-de-Vidrio_Ficha-T%C3%A9cnica.pdf
2. Aranguren, A. (5 de Enero de 2018). *Motor y racing*. Obtenido de Motor y racing: <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/el-tubo-de-escape-su-historia-y-funcionamiento/>
3. AutoDoc. (10 de Octubre de 2021). *AutoDoc*. Obtenido de AutoDoc: <https://club.autodoc.es/magazin/silenciador-tubo-de-escape-como-funciona-problemas-comunes-y-reemplazo>
4. Automotriz. (25 de Junio de 2020). *Los coches*. Obtenido de Los coches: <https://loscoches.com/blog/sistema-de-escape-de-un-carro/>
5. Bautista, A., Celi, J., & Farfam, K. (2013). *Contaminacion Sonora*. Guayaquil: Ecotec.
6. Baysan. (12 de mayo de 2019). *baysan moving fleeting*. Obtenido de baysan moving fleeting: <https://baysanquality.com/blog/la-evolucion-del-automovil/>
7. BOSCH. (2003). *TECNICA DE GASES DE ESCAPE PARA MOTORES A GASOLINA* . Alemania: Postfach.
8. Cabrerizo, A., Antón, J., & Barrio, J. (2007). *Física y Química*. Madrid: Editex. S.A.
9. Calvosealing. (8 de Junio de 2019). *calvosealing*. Obtenido de calvosealing: https://calvosealing.com/wp-content/uploads/docES_fibra_de_vidrio.pdf
10. CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA. (13 de marzo de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/cenam/articulos/que-es-un-dinamometro-vehicular-y-como-se-usa-para-la-medicion-de-emisiones-contaminantes-de-los-vehiculos?idiom=es#:~:text=Los%20dinam%C3%B3metros%20vehiculares%2C%20y%20en,los%20l%C3%ADmites%20de%20emisi%C3%B3n%20de>

11. Comercio, E. (26 de Noviembre de 2015). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio:
<https://www.elcomercio.com/deportes/carburando/carburando-autos-automoviles-sistema-escape.html>
12. Comunicaciones, R. (27 de Julio de 2020). *escapesmendoza*. Obtenido de escapesmendoza:
<http://www.escapesmendoza.cl/blog/resonadores-conoce-como-funcionan-y-sus-ventajas/>
13. Consejo Nacional de Planificación. (21 de septiembre de 2021). *SITEAL*. Obtenido de SITEAL:
https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/plan_de_creacion_de_oportunidades.pdf
14. Correa, R. (25 de junio de 2012). *LEXIS*. Obtenido de LEXIS:
<https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/Decreto-Ejecutivo-No.-1196-de-11-06-2012-REGLAMENTO-A-LA-LEY-DE-TRANSPORTE-TERRESTRE-TRANSITO-Y-SEGURIDAD-VIA.pdf>
15. DeGarmo, P. B. (2022). *Materiales y proceso de fabricacion*. Barcelona : Reverte.
16. DIARIO LA HORA. (9 de Diciembre de 2020). *DIARIO LA HORA*. Obtenido de DIARIO LA HORA: <https://www.lahora.com.ec/noticias/sancion-por-ruido-aplica-para-bienes-publicos-y-privados/>
17. DIPAC MANTA S.A. (25 de ABRIL de 2022). *PLANCHAS GALVANIZADAS*. Obtenido de PLANCHAS GALVANIZADAS: https://dipacmanta.com/producto/planchas-galvanizadas/?attribute_pa_planchas-galvanizadas=1-4mm-1-16
18. DYNOMAX. (4 de abril de 2022). Mufler.
19. ECODES. (28 de NOVIEMBRE de 2005). *Efectos de la contaminación acústica sobre la salud*. Obtenido de Efectos de la contaminación acústica sobre la salud:
<https://archivo.ecodes.org/web/noticias/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud>

20. Escapes, P. (sf de sf de 2021). *pajaroescapes*. Obtenido de pajaroescapes: https://www.pajaroescapes.com.ar/como_funciona.html
21. Español, C. (sf de sf de 2021). *Coche Español*. Obtenido de Coche Español: <http://www.automotriz.mobi/coches/Reparaciones/exhaust-systems/70688.html>
22. Ferrer Ruiz, J., & Checa Ibañez, G. (2010). *Mantenimiento Mecanico Preventivo del vehiculo*. MADRID: EDITEX.
23. GRAYSPTROTECT. (15 de JULIO de 2020). *GRAYSPTROTECT*. Obtenido de GRAYSPTROTECT: <https://www.grays.com/lot/0069-7027063/gadgets/digitech-qm1592-sound-level-meter?tab=Description>
24. Ministerio del Ambiente, A. y. (2015). MAE. *NORMA TÉCNICA QUE ESTABLECE LOS LIMITES*, 16. Obtenido de MAE: <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%205%20RUIDO.pdf>
25. MIYARA, F. (13 de MARZO de 2018). *NIVELES SONOROS*. Obtenido de NIVLES SONOROS: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm#:~:text=La%20unidad%20utilizada%20para%20expresar,la%20mayor%C3%ADa%20de%20las%20personas.>
26. Motor, C. (sf de sf de 2020). *Canal Motor*. Obtenido de Canal Motor: <https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/partes-tubo-de-escape/>
27. Motor, M. (sf de sf de 2021). *Mundo Motor*. Obtenido de Mundo Motor: <https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-escape/>
28. Nieto. (19 de Junio de 2018). *DerechoEcuador.com*. Obtenido de DerechoEcuador.com: <https://derechoecuador.com/la-contaminacion-acustica-y-su-legislacion/>
29. OMS. (sf de sf de 2006). *Acústica español* . Obtenido de Acústica español : <https://www.ehu.eus/acustica/espanol/ruido/efectos%20y%20normativa/efectos%20y%20normativa.html>

30. OMS. (2 de marzo de 2022). *OMS*. Obtenido de OMS: <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>
31. Ortega. (22 de Octubre de 2019). *AUTOMEXICO*. Obtenido de AUTOMEXICO: <https://automexico.com/mantenimiento/sistema-de-escape-automotriz-para-autos-de-alto-desempeno-beneficios-desventajas-aid5489>
32. Palacios, J. A. (2010). INFLUENCIA DE LA DISPOSICIÓN DEL CONDUCTO DE ESCAPE EN EL. *INFLUENCIA DE LA DISPOSICIÓN DEL CONDUCTO DE ESCAPE EN EL*, 95-96.
33. Pérez Montiel, H. (2014). *Física General*. México: Patria.
34. Prada, A. (18 de octubre de 2015). *Tuberías, silenciadores y sistemas de escape, ¿cómo funcionan y cómo afectan el rendimiento del motor?*. Obtenido de Tuberías, silenciadores y sistemas de escape, ¿cómo funcionan y cómo afectan el rendimiento del motor?.: <https://andrespradagarcia.blogspot.com/2015/10/tuberias-y-sistemas-de-escape-como.html>
35. QUORANIA. (19 de Agosto de 2020). *QUORANIA*. Obtenido de QUORANIA: <https://quorania.com/como-prevenir-la-contaminacion-acustica/>
36. REPUBLICA, P. D. (27 de DICIEMBRE de 2022). *LIMITES PERMISIBLES DE NIVELES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS, MOVILES Y VIBRACIONES*. Obtenido de http://www.efficacitas.com/efficacitas_es/assets/Anexo%205.pdf
37. Rodríguez. (16 de Abril de 2015). *Blog Mecánicos*. Obtenido de Blog Mecánicos: <http://www.blogmecanicos.com/2015/04/evolucion-de-los-sistemas-de-escape.html>
38. SALUD, O. M. (12 de JULIO de 2015). *DEPARTAMENTO DE ENFERMEDADES NO TRANSMITIBLES Y PREVENCION DE TRAUMATISMOS* . Obtenido de DEPARTAMENTO DE ENFERMEDADES NO TRANSMITIBLES Y PREVENCION DE TRAUMATISMOS :

https://www.who.int/pbd/deafness/activities/MLS_Brochure_Spanish_lowres_for_web.pdf

39. Serway, R. A. (2005). *Física para ciencias e ingeniería* . Madrid: EDITEC S.A. de C.V.
40. Torres, P. (sf de sf de 2010). *Modelado acústico de silenciadores*. Obtenido de Modelado acústico de silenciadores:
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5124/fichero/capitulo+2.pdf>
41. UNIVERSIDAD DE BARCELONA. (20 de Marzo de 2012). *Efectos psicológicos del ruido*. Obtenido de Efectos psicológicos del ruido:
http://www.ub.edu/psicologia_ambiental/unidad-4-tema-9-3-2
42. VICTOR, S. (2007). *Salud Ambiental de los Estados Unidos*. BARCELONA: PERSON.
43. Vivar, J. (sf de Febrero de 2015). *Repositorio UPS*. Obtenido de Repositorio UPS:
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8918>

ANEXOS

ANEXO I

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SILENCIADORES



FIGURA AI.1 Dimensionamiento de la plancha de tol



FIGURA AI.2 Medición de tuberías



FIGURA AI.3 Proceso de corte de los moldes de las tapas



FIGURA AI.4 Tapas de los silenciadores cilíndrico y Down Sized



FIGURA A1.5 Corte del cuerpo del silenciador



FIGURA A1.6 Tapas del silenciador ovalado híbrido



FIGURA AI.7 Barolado del silenciador ovalado híbrido

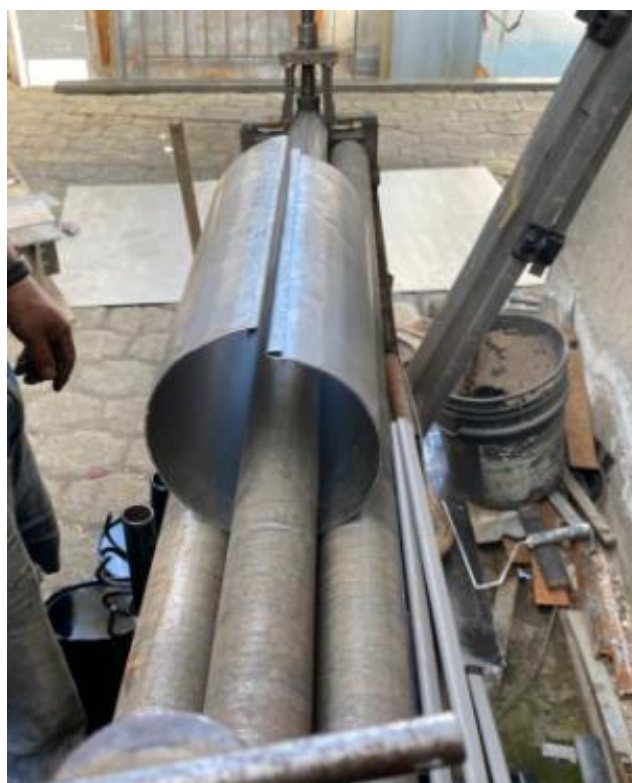


FIGURA AI.8 Barolado del silenciador cilíndrico



FIGURA AI.9 Perforación de tubería interna de los conductos



FIGURA AI.10 Corte de bridas por plasma



FIGURA AI.11 Ensamblaje de silenciadores



FIGURA AI.12 Perforación de placas deflectoras

ANEXO II
SILENCIADORES CONSTRUIDOS



FIGURA AII.1 Silenciador Deportivo Tipo Bala



FIGURA AII.2 Silenciador Ovalado Híbrido



FIGURA AII.3 Silenciador Cilíndrico Reactivo



FIGURA AII.4 Silenciador Down Sized Reflectante

ANEXO III

PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS

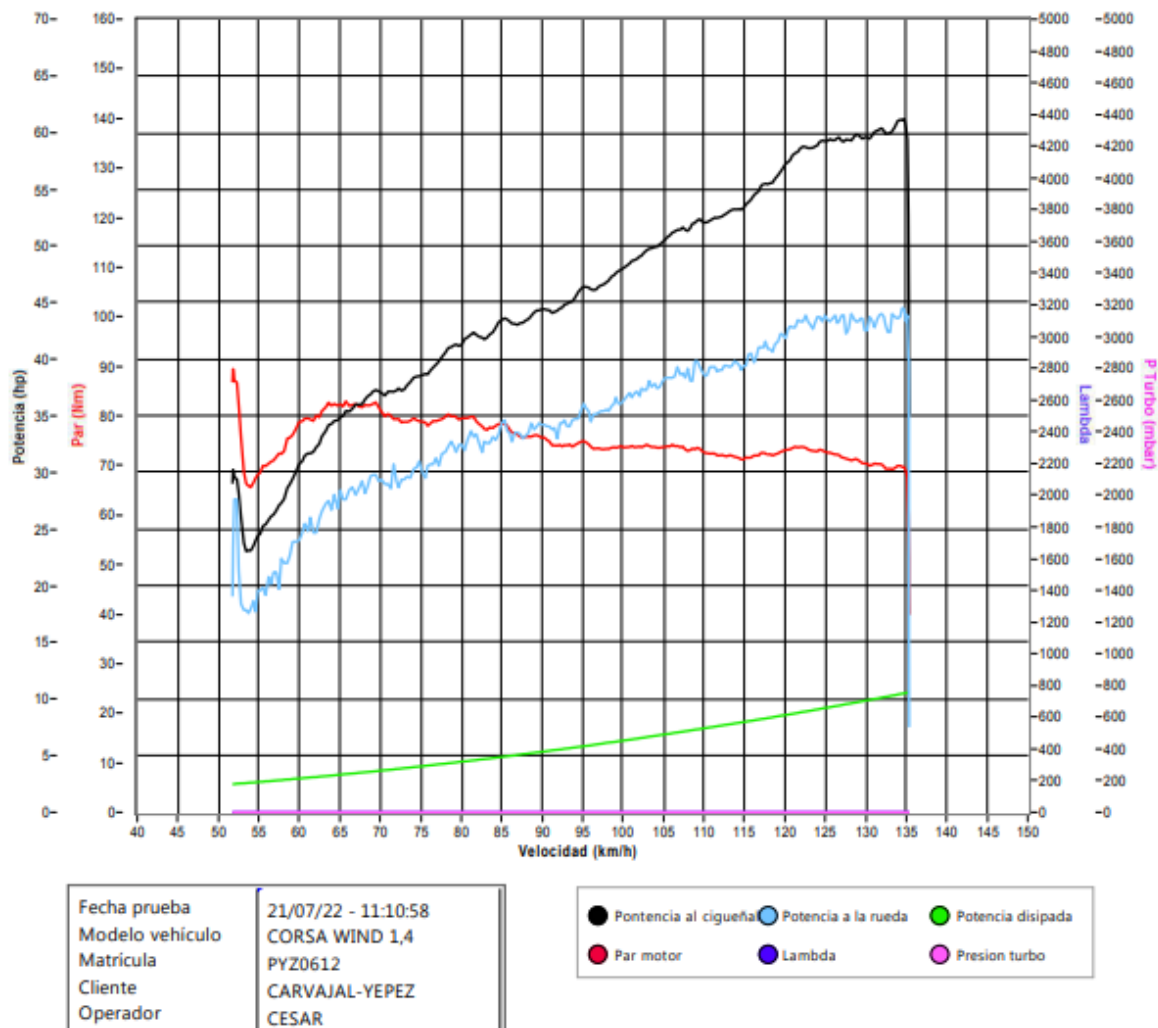


FIGURA AIII.1 Silenciador Cilíndrico Reactivo

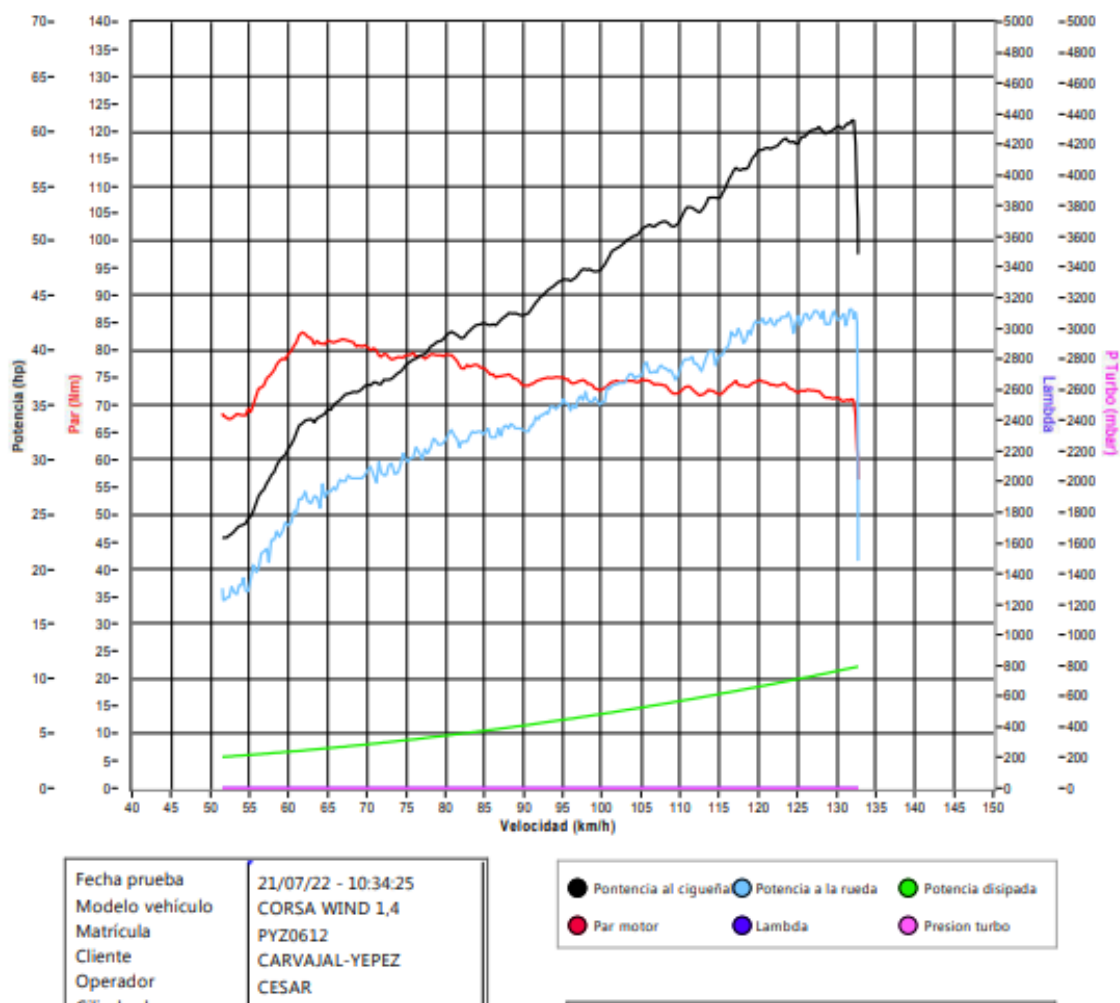


FIGURA AIII.2 Silenciador Ovalado Híbrido

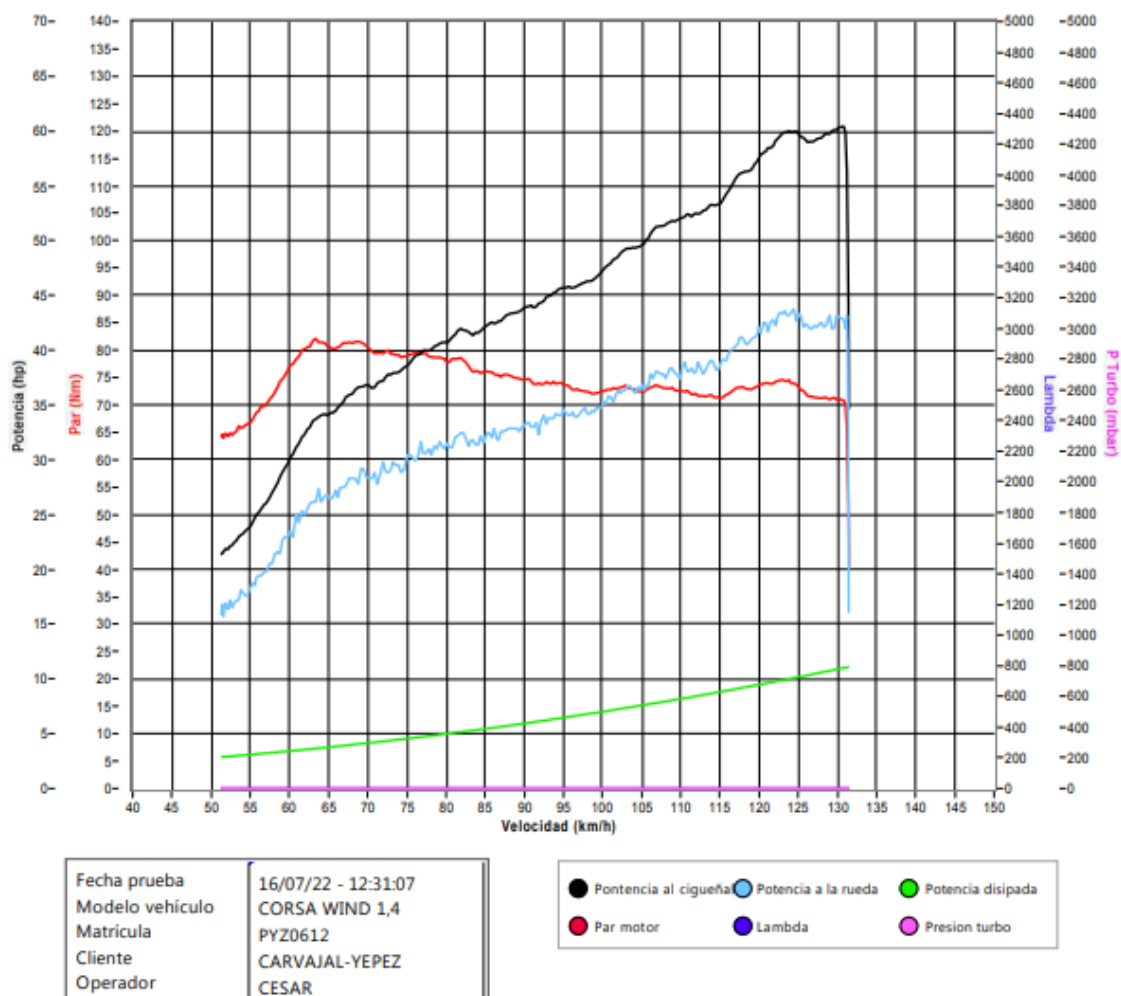


FIGURA AIII.3 Silenciador Deportivo Tipo Bala

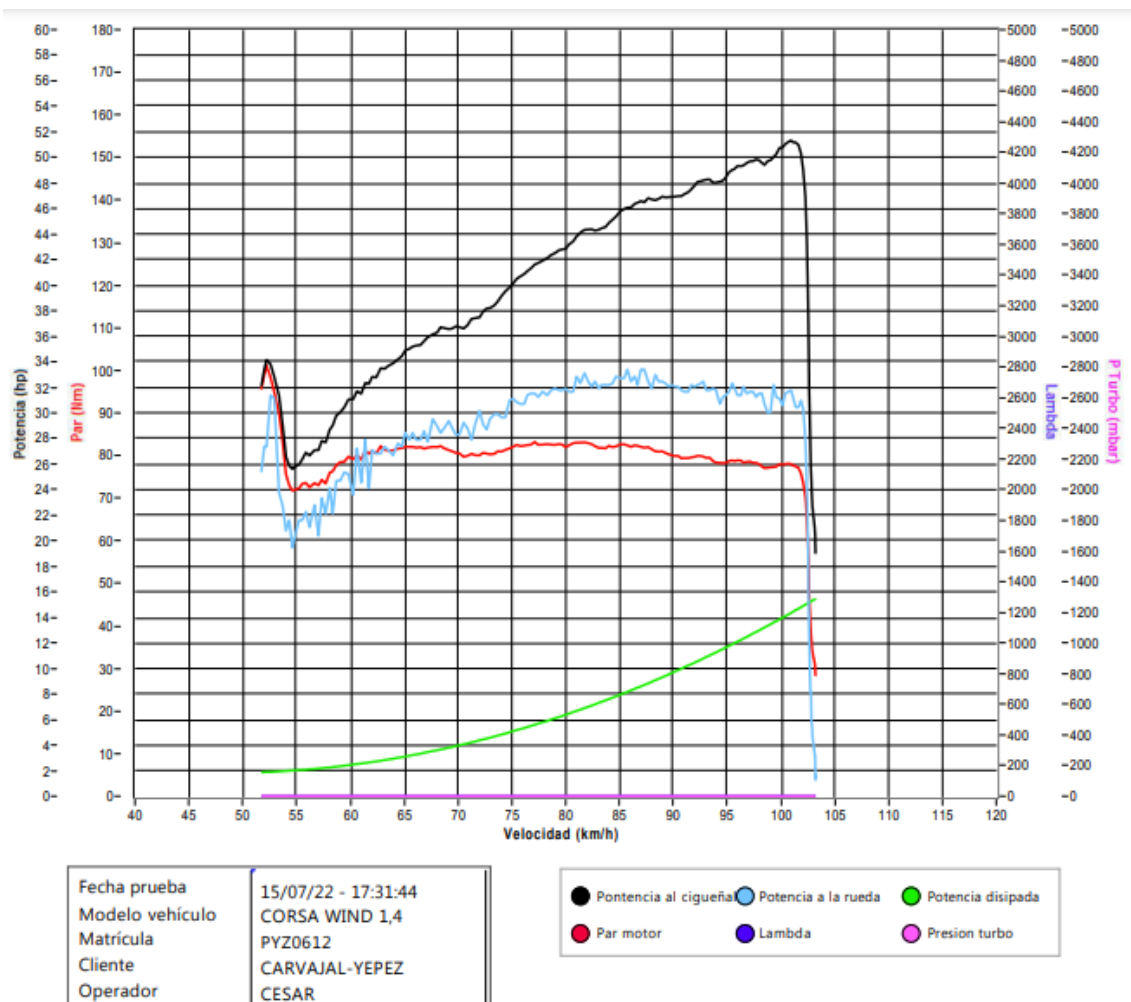


FIGURA AIII.4 Silenciador Down Sized Reflectante



FIGURA AIII.5 Prueba Dinamométrica en vehículo Corsa Wind 1.4L

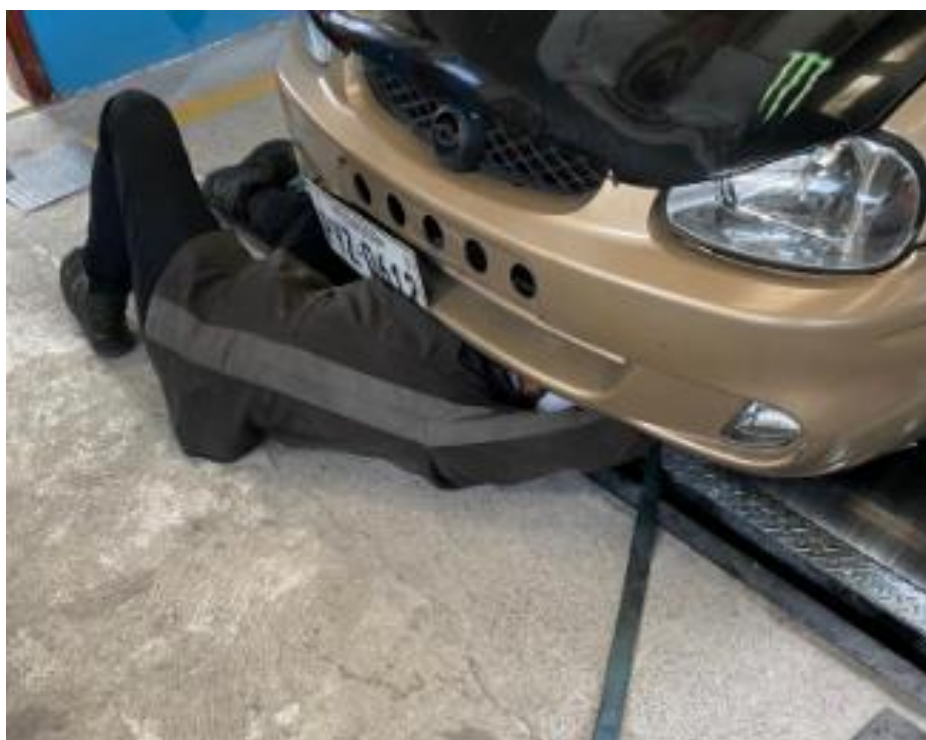


FIGURA AIII.6 Inmovilizar el vehículo antes de la prueba dinamométrica

ANEXO IV

PRUEBAS DE EMISIÓN DE GASES


ANAL. GASES DE ESCAPE	
Tipo:	AG5-688
Version Software:	1.364
No. Serie:	110907001146
Placa:	
Tipo combustible:	GASOLINA
VALORES MEDIDOS	
Temp. :	----- [°C]
RPM :	2510 [1/min]
CO :	8.01 [%Vol]
CO2 :	9.4 [%Vol]
HC :	452 [ppmVol]
O2 :	1.85 [%Vol]
NOx :	0 [ppmVol]
Lambda :	0.839 [-]
Fecha y hora	
21.07.2022 10:29	
Sello:	
Examinador: UTN00-	
Firma:	
α	
ANAL. GASES DE ESCAPE	
Tipo:	AG5-688
Version Software:	1.364
No. Serie:	110907001146
Placa:	
Tipo combustible:	GASOLINA
VALORES MEDIDOS	
Temp. :	----- [°C]
RPM :	1020 [1/min]
CO :	1.88 [%Vol]
CO2 :	4.9 [%Vol]
HC :	121 [ppmVol]
O2 :	15.17 [%Vol]
NOx :	0 [ppmVol]
Lambda :	2.375 [-]
Fecha y hora	
21.07.2022 10:29	
Sello:	
Examinador: UTN00-	
Firma: 	

FIGURA AIV.1 Silenciador Cilíndrico

ANAL. GASES DE ESCAPE	
Tipo:	AGS-688
Version Software:	1.364
No. Serie:	110907001146
Placa:	
Tipo combustible:	GASOLINA
VALORES MEDIDOS	
Temp. :	----- [°C]
RPM :	2530 [1/min]
CO :	7.29 [%Vol]
CO2 :	10.0 [%Vol]
HC :	221 [ppmVol]
O2 :	1.15 [%Vol]
NOx :	0 [ppmVol]
Lambda :	0.839 [-]
Fecha y hora	
20.07.2022 10:19	
Sello:	
Examinador: UTN00-	
Firma:	
α	
ANAL. GASES DE ESCAPE	
Tipo:	AGS-688
Version Software:	1.364
No. Serie:	110907001146
Placa:	
Tipo combustible:	GASOLINA
VALORES MEDIDOS	
Temp. :	----- [°C]
RPM :	990 [1/min]
CO :	2.32 [%Vol]
CO2 :	6.3 [%Vol]
HC :	78 [ppmVol]
O2 :	14.22 [%Vol]
NOx :	0 [ppmVol]
Lambda :	1.992 [-]
Fecha y hora	
20.07.2022 10:18	
Sello:	
Examinador: UTN00-	
Firma:	
Prueba (1)	

FIGURA AIV.2 Silenciador Ovalado Híbrido

4

```

-----
ANAL. GASES DE ESCAPE
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:   1.364
No. Serie:          110907001146
-----
Placa:
Tipo combustible:   GASOLINA
-----
VALORES MEDIDOS
-----
Temp.   :  -----   [°C]
RPM     :  2520     [1/min]
CO      :  7.54     [%Vol]
CO2     :  10.1     [%Vol]
HC      :  241     [ppmVol]
O2      :  0.89     [%Vol]
NOx     :  0       [ppmVol]
Lambda  :  0.825   [-]
-----
Fecha y hora
15.07.2022  11:45
-----
Sello:

```

```

Examinador:                UTN00-

```

```

Firma:

```

α

```

-----
ANAL. GASES DE ESCAPE
-----
Tipo:                AGS-688
Version Software:   1.364
No. Serie:          110907001146
-----
Placa:
Tipo combustible:   GASOLINA
-----
VALORES MEDIDOS
-----
Temp.   :  -----   [°C]
RPM     :  940      [1/min]
CO      :  1.70     [%Vol]
CO2     :  6.1      [%Vol]
HC      :  114     [ppmVol]
O2      :  13.94   [%Vol]
NOx     :  0       [ppmVol]
Lambda  :  2.103   [-]
-----
Fecha y hora
15.07.2022  11:44
-----
Sello:

```

FIGURA AIV.3 Silenciador Deportivo Tipo Bala

ANAL. GASES DE ESCAPE

Tipo: 1 AGS-688
 Version Software: 1.364
 No. Serie: 110907001146

Placa:
 Tipo combustible: GASOLINA

VALORES MEDIDOS

Temp. : ----- [°C]
 RPM : 2590 [1/min]
 CO : 1.43 [%Vol]
 CO2 : 13.7 [%Vol]
 HC : 110 [ppmVol]
 O2 : 2.04 [%Vol]
 NOx : 1 [ppmVol]
 Lambda : 1.046 [-]

Fecha y hora
 14.07.2022 12:39

Sello:

Examinador: UTN00-

Firma:

α

ANAL. GASES DE ESCAPE

Tipo: AGS-688
 Version Software: 1.364
 No. Serie: 110907001146

Placa:
 Tipo combustible: GASOLINA

VALORES MEDIDOS

Temp. : ----- [°C]
 RPM : 930 [1/min]
 CO : 0.90 [%Vol]
 CO2 : 13.5 [%Vol]
 HC : 177 [ppmVol]
 O2 : 2.82 [%Vol]
 NOx : 1 [ppmVol]
 Lambda : 1.098 [-]

Fecha y hora
 14.07.2022 12:37

Sello:

Examinador: UTN00-

Firma:

FIGURA AIV.4 Silenciador Down Sized Reflectante

ANEXO V

PRUEBAS DE ANÁLISIS DE RUIDO



FIGURA AV.1 Análisis de Ruido a marcha mínima



FIGURA AV.2 Análisis de Ruido a marcha máxima