

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA
EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA,
SONORIZACIÓN Y FLUJO DE GASES EN UN SISTEMA DE ESCAPE DISEÑADO
PARA UN VEHÍCULO CHEVROLET SAIL 1.4L.**

ANDRÉS ARTURO SUNTAXI ANDRADE

DIRECTOR: ING. EDGAR GUSTAVO VERA PUEBLA, MSC

GUAYAQUIL, OCTUBRE 2019

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

CERTIFICADO DE ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Yo, Andrés Arturo Suntaxi Andrade, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

ANDRÉS ARTURO SUNTAXI ANDRADE
C.I. 0926313917

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MSc.

CERTIFICA

Que el trabajo de “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VARIABLES DE TEMPERATURA, SONORIZACIÓN Y FLUJO DE GASES EN UN SISTEMA DE ESCAPE DISEÑADO PARA UN VEHÍCULO CHEVROLET SAIL 1.5L.” realizado por el estudiante: Andrés Arturo Sntaxi Andrade ha sido guiado y revisado periódicamente, cumpliendo las normas estatutarias establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes. Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendo su publicación. Este trabajo consta de un empastado que contiene toda la información del mismo. Autoriza el señor: Andrés Arturo Sntaxi Andrade que lo entregue a la biblioteca de la facultad, en calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, octubre de 2019

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MSc

Director de proyecto

DEDICATORIA

Dedico este objetivo cumplido:

A mi madre Isabel Andrade quien estuvo desde el inicio de la carrera apoyándome para poder seguir y culminarla con éxito esta etapa.

A mi querido grupo de amigas, amigos y a toda mi familia los cuales han estado siempre pendiente de mí y apoyándome para que pueda cumplir y desarrollar los objetivos profesionales y personales que me he propuesto a desarrollar en el transcurso de mi vida.

Andrés Suntaxi Andrade.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado fuerzas y ganas para poder llegar a culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A la Universidad Internacional del Ecuador, Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz extensión Guayaquil por haberme permitido desarrollar profesionalmente.

A mis profesores de la Universidad los cuales me ofrecieron su guía, conocimiento y apoyo en cada materia y semestre en los que pude recibir sus enseñanzas.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Planteamiento.....	1
1.2 Formulación del problema.....	1
1.3 Sistematización del problema.....	2
1.4 Objetivos de la investigación.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 Justificación y delimitación de la investigación	3
1.5.1 Justificación teórica.....	3
1.5.2 Justificación metodológica	3
1.5.3 Justificación práctica	4
1.5.4 Definición temporal.....	4
1.5.5 Delimitación geográfica	4

1.5.6 Delimitación de contenido.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Sistema de escape.....	6
2.1.1 Colector	8
2.1.2 Convertidor Catalítico	10
2.1.2.1 Gases de escape del motor	11
2.1.2.1.1 Gases no tóxicos.....	13
2.1.2.1.2 Gases tóxicos.....	13
2.1.3 Presilenciador.....	14
2.1.4 Silenciador de escape	15
2.1.4.1 Tipos de silenciadores	16
2.2 Tipos de colectores de escape.....	18
2.3 Temperatura en el sistema de escape	21
2.4 Sonido.....	22
2.4.1 Rango de frecuencia	23
2.4.2 Norma para la medición de sonido de un tubo de escape.....	24
2.5 Tipos de fluidos y flujos en los múltiples.....	25
2.6 Efectos de las ondas en escape	26
2.7 Ecuaciones de transporte	27
2.8 Conservación de la masa	28
2.9 Conservación de la cantidad de movimiento.....	28
2.10 Conservación de la energía.....	29
2.11 Fricción.....	30
2.12 Transferencia de calor	30

2.13 Ecuaciones generalizadas	31
2.14 Ecuaciones para el diseño del sistema de escape	33
2.14.1 Longitud del colector primario	33
2.14.2 Diámetro del colector primario	33
2.14.3 Longitud del colector secundario	34
2.14.4 Diámetros del colector secundario	34
2.15 Software de Diseño asistido.....	34
2.15.1 ANSYS	35
2.15.1.1 ANSYS Workbench	35
2.15.2.2 Análisis de Fluidos Dinámicos.....	36
CAPÍTULO III	37
DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO EN EL SISTEMA DE ESCAPE	37
3.1. Generación del dibujo 3D del sistema de escape.....	37
3.1.1 Presentación del diseño del sistema de escape original	37
3.1.2 Presentación del nuevo diseño del sistema de escape para el vehículo Chevrolet Sail ...	41
3.2 Importación de los dibujos 3D del sistema de escape original y modificado al software de dinámica de fluidos computacional (CFD)	44
3.3 Diseño de malla para el sistema de escape original y modificado.....	45
3.4 Verificación de la malla	48
3.5 Simulación del sistema de escape en CFD	49
3.5.1 Simulación de la presión generada en el sistema de escape original	50
3.5.2 Simulación de la velocidad generada en el sistema de escape original	52
3.5.3 Simulación de la temperatura generada en el sistema de escape original	55
3.5.4 Medición de la sonorización del sistema de escape original	57
3.5.5 Simulación de la presión generada en el sistema de escape modificado.....	58

3.5.6 Simulación de la velocidad de los gases de escape combustionados en el sistema de escape modificado.....	61
3.5.7 Simulación de la turbulencia generada por el flujo de los gases de escape a través del sistema de escape modificado	63
3.5.8 Simulación de la temperatura generada por el flujo de los gases de escape a través del sistema de escape modificado	65
CAPÍTULO IV	68
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	68
4.1 Valores máximos y mínimos obtenidos en las simulaciones de los sistemas de escape.....	68
4.1.1 Valores máximos de simulación de cada sistema de escape	68
4.1.2 Valores mínimos de simulación de cada sistema de escape	68
4.2 Gráficos comparativos de los valores máximos y mínimos obtenidos	68
4.2.1 Gráficos de los valores máximos obtenidos de la simulación	69
4.2.2 Gráficos comparativos de los valores mínimos obtenidos	72
4.3 Gráficos de los porcentajes de variación de los valores máximos y mínimos obtenidos....	75
4.3.1 Gráficos en porcentajes de variación en los valores máximos	75
4.3.2 Gráficos de los porcentajes de variación de los valores mínimos.....	78
CAPÍTULO V.....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1 CONCLUSIONES	81
5.2 RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación geográfica de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil.	5
Figura 2 Sistema de escape y sus tramos.	6
Figura 3 Despiece del Sistema de escape.....	7
Figura 4 Partes del colector de escape con catalizador integrado.....	9
Figura 5 Partes del colector de escape de tubos largos de un motor de 4 cilindros.....	10
Figura 6 Catalizador seccionado.....	11
Figura 7 Porcentaje de moléculas y partículas que contienen los gases de escape.	12
Figura 8 Partes del Presilenciador de escape.....	15
Figura 9 Partes de un silenciador de escape con tecnología por reflexión.....	16
Figura 10 Silenciador por reflexión.	16
Figura 11 Silenciador por absorción.	17
Figura 12 Silenciador por absorción y reflexión.	17
Figura 13 Colector de escape 4 en 1.	19
Figura 14 Colector de escape 4-2-1	19
Figura 15 Colector de escape doble 2-1	20
Figura 16 Temperatura en los diferentes tramos del sistema de escape.	21
Figura 17 Medidor de temperatura infrarrojo.....	22
Figura 18 Sonómetro.....	23
Figura 19 Medición del ruido que producen los vehículos en el ambiente con un sonómetro.....	25
Figura 20 Movimiento de las ondas de presión y expansión que se generan en el cilindro	26
Figura 21 Volumen de control.....	27
Figura 22 Medidores de flujo.	32
Figura 23 Logo de ANSYS.	35
Figura 24 Simulación de flujo en un cilindro utilizando ANSYS.....	36
Figura 25 Múltiple de escape dibujado en CAD y original.....	37
Figura 26 Catalizador dibujado en CAD y original.	38
Figura 27 Tramo intermedio dibujado en CAD y original.....	38
Figura 28 Tramo intermedio con resonador dibujado en CAD y original.	39

Figura 29 Silenciador dibujado en CAD y original.	39
Figura 30 Ensamble escape original.	40
Figura 31 Despiece del sistema de escape del vehículo.....	40
Figura 32 Catalizador modificado.	41
Figura 33 Tramo intermedio modificado.	42
Figura 34 Tramo intermedio del resonador de escape modificado.....	42
Figura 35 Interior del silenciador modificado.	43
Figura 36 Sistema de escape modificado ensamblado.	43
Figura 37 Importación de geometría 3D de los sistemas de escape.	44
Figura 38 Mallado del colector de escape.....	45
Figura 39 Mallado del catalizador.	46
Figura 40 Mallado generado en el tramo intermedio de sistema de escape.	46
Figura 41 Mallado del tramo intermedio que está conectado con el resonador de escape.	47
Figura 42 Mallado generado en silenciador de escape.	47
Figura 43 Generación del mallado en el sistema de escape.	48
Figura 44 Jacobian ratio del sistema de escape modificado.....	49
Figura 45 Simulación de la presión en el sistema de escape original.....	50
Figura 46 Presión generada en el múltiple de escape original.	50
Figura 47 Presión generada en el tubo de escape original.	51
Figura 48 Presión generada en el tramo intermedio del tubo de escape original.	51
Figura 49 Presión generada en el silenciador de escape original.	52
Figura 50 Simulación del recorrido de los gases de escape en el interior del sistema de escape modificado.....	52
Figura 51 Recorrido de los gases de escape en el interior del múltiple y catalizador.	53
Figura 52 tramo intermedio del sistema de escape.....	53
Figura 53 Tramo intermedio y resonador del sistema de escape.....	54
Figura 54 Recorrido del flujo de los gases de escape a través de los compartimientos del silenciador de escape.....	54
Figura 55 Plano de temperatura al ingresar los gases combustionados al sistema de escape. .	55
Figura 56 Temperatura de los gases de escapes al ingresar al múltiple de escape.....	55
Figura 57 Temperatura de los gases de escape en el sistema de escape original.	56

Figura 58 Temperatura de los gases de escape en el tramo intermedio del sistema de escape original.	56
Figura 59 Temperatura de los gases combustionados en el silenciador de escape del sistema de escape original.	57
Figura 60 Medición de la sonorización con el vehículo en ralentí.	57
Figura 61 Medición de la sonorización con el vehículo a 2500 rpm.	58
Figura 62 Simulación de la presión en el sistema de escape modificado.	58
Figura 63 Presión generada en el múltiple de escape.	59
Figura 64 Presión generada en el tubo de escape	59
Figura 65 Presión generada en el tramo intermedio del tubo de escape.	60
Figura 66 Presión generada en el silenciador de escape.	60
Figura 67 Simulación del recorrido de los gases de escape en el interior del sistema de escape modificado.	61
Figura 68 Recorrido de los gases de escape en el interior del múltiple y catalizador.	61
Figura 69 Tramo intermedio del sistema de escape.	62
Figura 70 Tramo intermedio y resonador del sistema de escape.	62
Figura 71 Recorrido del flujo de los gases de escape a través de los compartimientos del silenciador de escape.	63
Figura 72 Turbulencia de los gases de escape que fluyen a través del sistema de escape. .	63
Figura 73 Turbulencia de los gases de escape que fluyen por el múltiple de escape.	64
Figura 74 Turbulencia de los gases de escape generada que fluye a través del resonador de escape.	64
Figura 75 Turbulencia de los gases de escape al ingresar al silenciador de escape.	65
Figura 76 Plano de temperatura al ingresar los gases combustionados al sistema de escape. .	66
Figura 77 Temperatura de los gases al pasar por el tramo intermedio del tubo de escape.	67
Figura 78 Temperatura de los gases de escape.	67
Figura 79 Gráfico de comparación de la temperatura de los valores máximos obtenidos en la simulación.	69
Figura 80 Gráfico de comparación de la velocidad de los valores máximos obtenidos en la simulación.	70

Figura 81 Gráfico de comparación de la presión de los valores máximos obtenidos en la simulación.	71
Figura 82 Gráfico de comparación de la temperatura de los valores mínimos obtenidos en la simulación.	72
Figura 83 Gráfico de comparación de la velocidad de los valores mínimos obtenidos en la simulación.	73
Figura 84 Gráfico de comparación de la presión de los valores mínimos obtenidos en la simulación.	74
Figura 85 Porcentaje de variación de los valores máximos de temperatura.	75
Figura 86 Porcentaje de variación de los valores máximos de la velocidad.	76
Figura 87 Porcentaje de variación de los valores máximos de la presión.	77
Figura 88 Porcentaje de variación de los valores mínimos de temperatura.	78
Figura 89 Porcentaje de variación de los valores mínimos de velocidad.	79
Figura 90 Porcentaje de variación de los valores mínimos de la presión.	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada.	23
Tabla 2 Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores.....	24
Tabla 3 Parámetros de la ecuación de la conservación.....	31
Tabla 4 Valores de entrada con los que se trabajara en la simulación CFD	49
Tabla 5 Valores máximos obtenidos de las simulaciones de los sistemas de escape.	68
Tabla 6 Valores mínimos obtenidos de las simulaciones de los sistemas de escape.....	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Navier-stokes.....	28
Ecuación 2 Conservación de la masa.....	29
Ecuación 3 Conservación de la masa dividida para $(A\Delta x)$	29
Ecuación 4 Conservación de la cantidad de movimiento.....	29
Ecuación 5 Conservación de la cantidad de movimiento dividida para $(A\Delta x)$	30
Ecuación 6 Conservación de la energía.....	30
Ecuación 6a Relación entre entalpía y energía.....	30
Ecuación 7 Conservación de la energía dividida para $(A\Delta x)$	31
Ecuación 8 Fricción.....	31
Ecuación 9 Transferencia de calor.....	31
Ecuación 9a Coeficiente convectivo h	31
Ecuación 10 Conservación de la masa donde se reemplaza el esfuerzo viscoso y el coeficiente convectivo en términos del factor de fricción.....	32
Ecuación 11 Conservación de la cantidad de movimiento donde se reemplaza el esfuerzo viscoso y el coeficiente convectivo en términos del factor de fricción.....	32
Ecuación 12 Conservación de la energía donde se reemplaza el esfuerzo viscoso y el coeficiente convectivo en términos del factor de fricción.....	32
Ecuación 13 Derivadas parciales.....	33
Ecuación 14 Longitud del colector primario.....	34
Ecuación 15 Ecuación de longitud de colectores.....	34
Ecuación 16 Diámetros del colector primario.....	34
Ecuación 17 Longitud del colector secundario.....	35
Ecuación 18 Diámetros del colector secundario.....	35

RESUMEN

Esta investigación nos permite buscar y analizar una mejora en el diseño del sistema de escape del Chevrolet Sail 1.4L, en el cual se modificarán ciertos elementos del sistema de escape y en el que se analizarán ciertas variables que serán comparadas con las variables del diseño de escape original para conocer si las modificaciones que fueran realizadas dieron un resultado de mejora en la eficiencia del motor del vehículo. Cada sistema de escape será dibujado en un programa de diseño CAD, Luego estos diseños serán exportados a otro programa donde se utilizará un software de análisis en dinámica de fluidos computacional (CFD) el cual nos permitirá simular cada sistema de escape para obtener las variables que necesitamos para la investigación del proyecto. Al realizar las simulaciones de los sistemas de escape original y modificado se pudieron obtener los resultados de las variables que fueron la temperatura, velocidad y presión de los gases combustionados que se desplazan a través de estos sistemas de escape, estos resultados fueron separados en valores máximos y mínimos los cuales fueron tabulados y posteriormente graficados para que se puedan analizar de una mejor forma. Luego de haber analizado detalladamente cada variable en sus valores máximos y mínimos se ha podido generar un criterio de ingeniería sobre las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape del Chevrolet Sail 1.4L.

PALABRAS CLAVES: Diseño, Simulación, Análisis, Variables, Gases.

ABSTRACT

This research allows us to find and analyze an improvement in the design of the exhaust system of the Chevrolet Sail 1.4L, in which certain elements of the exhaust system will be modified and in which certain variables will be analyzed that will be compared to the variables of the original exhaust design to see if the modifications that were made resulted in an improvement in the efficiency of the vehicle's engine. Each exhaust system will be drawn in a CAD design program, then these designs will be exported to another program where we will use computer fluid dynamics analysis (CFD) software which will allow us to simulate each exhaust system to obtain the variables we need for project research. By performing the simulations of the original and modified exhaust systems, the results of the variables that were the temperature, speed and pressure of the combustion gases that move through these exhaust systems, these results were separated into maximum and minimum values which were tabulated and subsequently plotted so that they can be analyzed in a better way. After having analyzed in detail each variable in its maximum and minimum values, an engineering criterion could be generated on the modifications that were made to the exhaust system of the Chevrolet Sail 1.4L

KEY WORDS: Design, Simulation, Analysis, Variables, Gases.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento

El sistema de escape de un vehículo Chevrolet Sail 1.4L ha sido diseñado para que tenga como función el transportar los gases que son combustionados en el motor hacia la parte exterior del vehículo, a través del tubo de escape, disminuir la temperatura de los gases combustionados y poder reducir el ruido de los gases de escape (Calleja, 2015, p.199).

Pero en ocasiones los automóviles tienen un diseño del sistema de escape donde no nos permite que el vehículo tenga una mejor eficiencia en el rendimiento de su motor, y dependiendo del diseño del colector de escape estos generaran turbulencias y harán que los gases combustionados no puedan ser evacuados a una mayor velocidad haciendo que el motor se sobrecaliente y no tengan un rendimiento óptimo para poder generar la potencia requerida en el motor. (Casanovas, 2005, p.240)

Para esta investigación se diseñará un sistema de gases de escape en el cual analizaremos las variables de temperatura, sonorización, flujo de gases y eficiencia del motor. Con los valores obtenidos de las variables del nuevo sistema de escape las compararemos con los valores de las variables del sistema de escape original; así podremos lograr el diseño de un sistema de escape adecuado para que el vehículo Chevrolet Sail 1.4 L. adquiera una mejor eficiencia en el rendimiento de su motor.

1.2 Formulación del problema

¿Qué cambios se obtienen en el rediseño del sistema de escape de un vehículo Chevrolet Sail 1.4 L. dentro de las variables de temperatura, sonorización y flujo de gases de escape?

1.3 Sistematización del problema

- ¿Qué especificaciones tendremos en cuenta al diseñar el sistema de escape del vehículo Chevrolet Sail?
- ¿Cuáles serán los equipos necesarios que usaremos para medir la eficiencia del motor y las variables de temperatura, sonorización y flujo de gases del vehículo?
- ¿Cómo podremos saber si el diseño del sistema de escape nos ayudara a conseguir una mayor eficiencia en el rendimiento del motor?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Analizar un sistema de escape para el vehículo Chevrolet Sail 1.4 L. en el que mediremos las variables de temperatura, sonorización, flujo de gases de escape y eficiencia de motor con respecto al original.

1.4.2 Objetivos específicos

- Examinar el sistema de escape del vehículo Chevrolet Sail 1.4L., con ayuda de un software de diseño asistido por computadora para modelado mecánico.
- Analizar las variables de temperatura, sonorización, flujo de gases y eficiencia del motor, que generaron el nuevo diseño usando los equipos adecuados para estas mediciones.
- Comparar las variables que se obtuvieron en el diseño con los valores del sistema de escape original, para conseguir un sistema de escape adecuado, que al ser usado en el vehículo este tenga una mejor eficiencia en el rendimiento de su motor.

1.5 Justificación y delimitación de la investigación

1.5.1 Justificación teórica

Esta investigación será fundamentada en el análisis de variables como la temperatura, flujo de gases. Uno de los principales problemas en el diseño del colector de escape es el flujo de gases, El objetivo de diseño en cualquier tipo de motor no es solo determinar sistemas de escape que no dificulten el flujo del gas, sino que sean capaces de aprovechar las distintas perturbaciones de sobrepresión y depresión que se producen para mejorar el proceso de renovación de la carga. (Casanovas, 2005, p.239)

La temperatura también es una variable a analizar al momento de diseñar el sistema de escape, ya que está estrechamente relaciona en el diseño del sistema de escape, para diseñar correctamente un sistema de escape, puesto que los cálculos deben realizarse suponiendo unas ciertas temperaturas de trabajo del escape para que, a su vez, deducir la velocidad a la que se desplazaran las ondas y de esta forma ajustar la longitud de cada tramo a las especificaciones deseadas. Algunos autores sugieren emplear una temperatura media alrededor de 450°C para todo el escape y otros proporcionan fórmulas empíricas para deducirla, pero dado que en el sistema de escape convencional pueden darse diferencias de temperatura de hasta 500°C de un extremo a otro, lo mejor es intentar partir de los datos reales de funcionamiento de algún motor similar. (Casanovas, 2005, p.239)

1.5.2 Justificación metodológica

Para alcanzar los objetivos de estudios de la investigación, Se procederá a utilizar una metodología mixta, la cual contara con un estudio basado en métodos de observación, experimentación y análisis de datos los cuales serán recopilados antes, durante y después del proceso de investigación; para así poder conseguir un diseño del sistema de escape que nos permita obtener mayor eficiencia en el motor del vehículo Chevrolet Sail 1.4 L.

1.5.3 Justificación práctica

En la investigación se propone diseñar un sistema de escape en el cual se analizará las variables de temperatura, sonorización, flujo de gases y eficiencia del motor, el cual será instalado en el motor del vehículo Chevrolet Sail 1.4 L. para que consiga un mejor rendimiento en el desempeño del motor.

Este estudio se alinea con el eje 2: Economía al servicio de la sociedad; objetivo 5: impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible, de manera redistributiva y solidaria del Plan Nacional De Desarrollo Toda Una Vida.

También se basa en las líneas de investigación de la Universidad Internacional Del Ecuador y este se alinea con el literal #10 que es Innovación Tecnológica, Modelación y Simulación de Procesos, debido a que realizaremos el diseño de un sistema de escape el cual nos permita conseguir un mejor desempeño del vehículo.

1.5.4 Definición temporal

El desarrollo de esta investigación tomará dos meses en los cuales se realizará el diseño del sistema de escape y el análisis de las variables de temperatura, sonorización, flujo de gases y eficiencia del motor las cuales las compararemos con el sistema de gases de escape original, para así poder conseguir el desempeño del motor que deseamos.

1.5.5 Delimitación geográfica

La presente investigación se desarrollará en la ciudad de Guayaquil. En las instalaciones de la facultad de ingeniería mecánica de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil como se muestra en la Figura 1.



Figura 1 Ubicación geográfica de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil.

Google Maps.

1.5.6 Delimitación de contenido

Este trabajo de investigación contempla el análisis de un sistema de escape el cual es diseñado para analizar diferentes variables que son la temperatura, sonorización, flujo de gases y eficiencia del motor en el vehículo Chevrolet Sail 1.4L, la cual estará basado en artículos, teorías de diferentes autores, investigación y experimentación para la recopilación de datos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de escape

El sistema de escape es la última parte dentro de la fase abierta del motor, puesto que es el encargado de canalizar los gases resultantes de la combustión hacia el exterior del motor de una manera controlada; al abrir la válvula de escape los gases quemados salen del cilindro a gran velocidad y elevada temperatura a través del conducto de escape de la propia culata o cilindro para pasar después al colector de escape y al propio escape, que puede incorporar un catalizador para reducir la polución y un silenciador para reducir los ruidos.

Por consiguiente, el proceso de escape tiene dos funciones claramente diferenciadas; por una parte, evacuar los gases de escape evitando o atenuando las contrapresiones de escape, y por otra, reducir el ruido generado en el proceso. El objetivo de diseño en cualquier tipo de motor no es solo determinar sistemas de escape que no dificulten el flujo del gas, sino que sean capaces de aprovechar las distintas perturbaciones de sobrepresión y depresión que se producen para mejorar el proceso de renovación de la carga. (Casanovas, 2005, p.238-239)

El conjunto de las piezas que constituyen el sistema de escape tiene una longitud de aproximadamente 3 m para vehículos automóviles, está instalado en los bajos del vehículo y compuesto por tramos independientes desmontables como se muestra en la Figura 2.

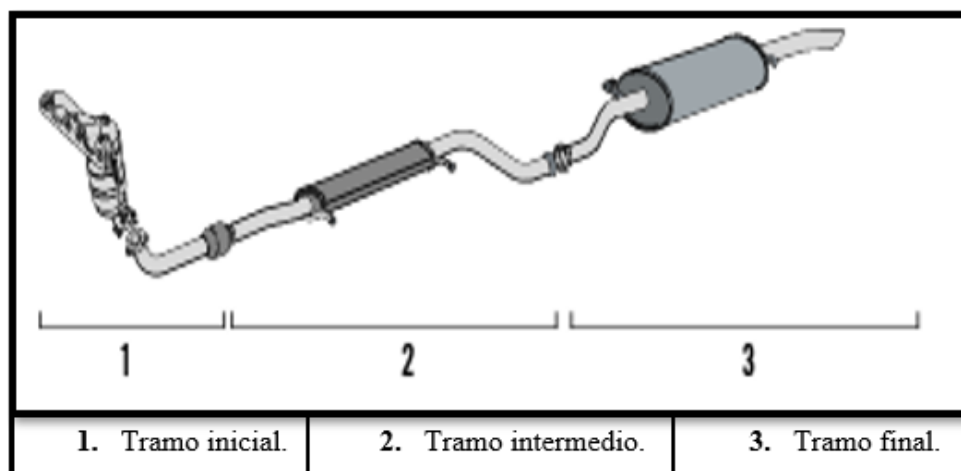


Figura 2 Sistema de escape y sus tramos.

(Melchor, 2012)

Normalmente, suele existir un único sistema de escape en un vehículo convencional como se muestra en la Figura 3; pero en vehículos de gran cilindrada, los sistemas se duplican, pudiendo existir varios tramos iniciales, intermedios y finales. Esto es debido a que el diámetro calculado para evacuar los gases hace inviable el diseño de un solo conducto. Puede darse el caso de que el tramo final esté formado por dos silenciadores conectados en paralelo, siendo los demás tramos comunes al sistema. (Melchor, 2012, p.111-112)

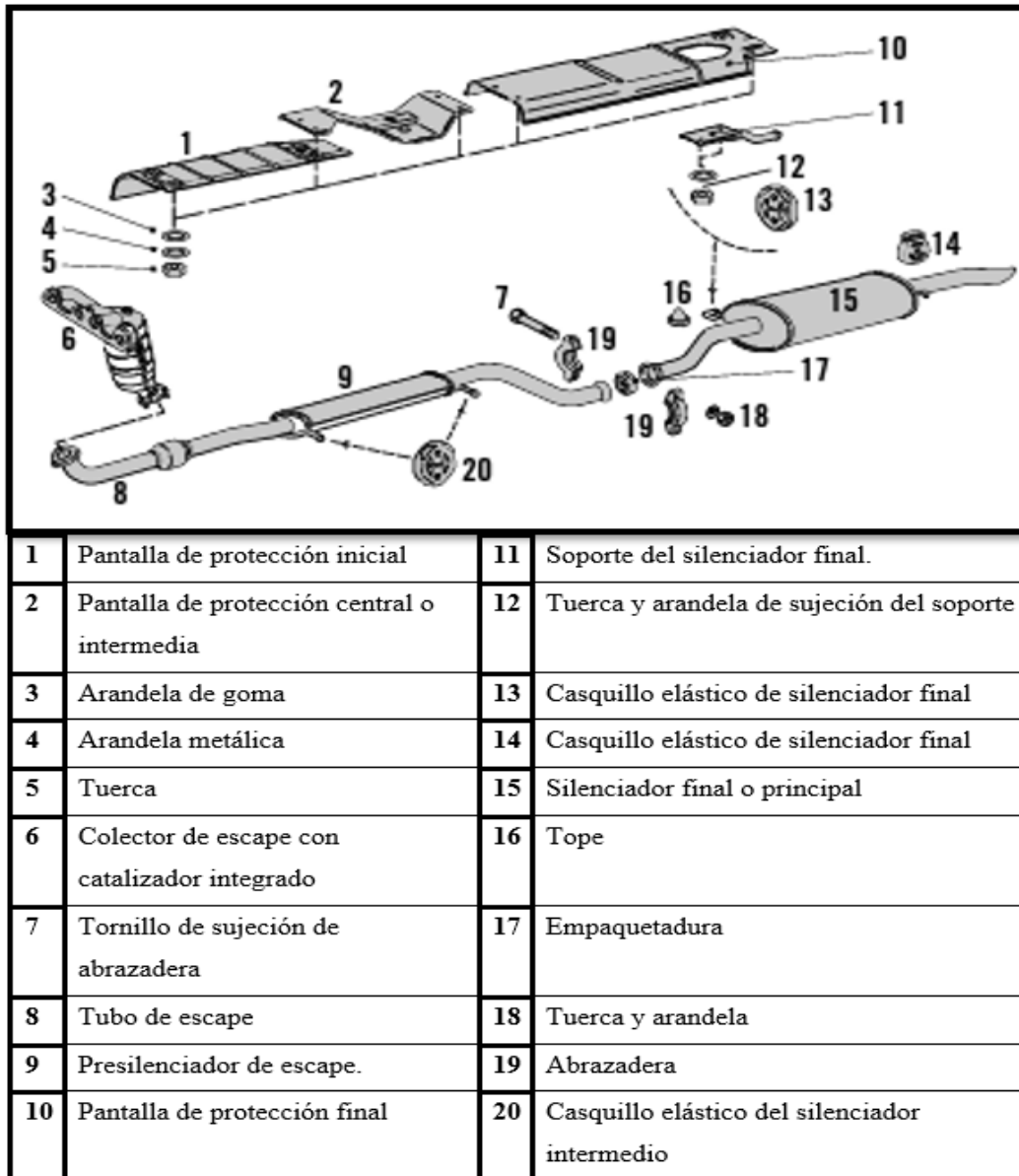


Figura 3 Despiece del Sistema de escape

(Melchor, 2012)

El tramo inicial está formado por los colectores de escape, y en este caso por un catalizador, aunque la mayoría de vehículos instala un pequeño presilenciador antes del catalizador, de forma que se reduzca la velocidad de los gases de escape y el ruido.

El tramo intermedio está formado por un presilenciador (9), que reduce la velocidad de los gases de escape y el ruido, seguido de un tramo final formado por el silenciador (15).

Encima del sistema de escape se instalan unas pantallas aislantes de calor (1, 2 y 10) para aislar térmicamente el habitáculo del vehículo, ya que los gases de escape circulan a muy altas temperaturas por el interior del sistema de escape. Los gases de escape inician su recorrido por el colector de escape (6), saliendo del motor a alta velocidad y temperaturas de aproximadamente 900°C, por el camino hasta su salida va disminuyendo la temperatura al refrigerarse por el aire atmosférico. (Melchor, 2012, p.113)

2.1.1 Colector

El colector del sistema de escape como muestra la Figura 4 es una pieza formada por varios tubos curvos, tantos tubos como número de cilindros tenga el motor, los cuales suelen unirse en un solo conducto. Por él salen los gases de la combustión desde los cilindros. Si el motor es de ocho o doce cilindros suele llevar dos colectores. Su diseño es muy importante, ya que debe permitir una salida rápida y óptima de los gases de escape sin generar excesivas turbulencias, lo cual se traduce en un motor con más potencia.

Los materiales en los que se fabrica el colector son principalmente de fundición de hierro con estructura perlítica¹ y acero inoxidable y tiene alta resistencia a la temperatura de los gases de escape sin dilatarse excesivamente. (Melchor, 2012, p.113).

¹ Estructura perlítica: son aquellos aceros que tienen una aleación baja o media, ofrece propiedades mecánicas superiores con un buen acabado superficial y gran endurecimiento

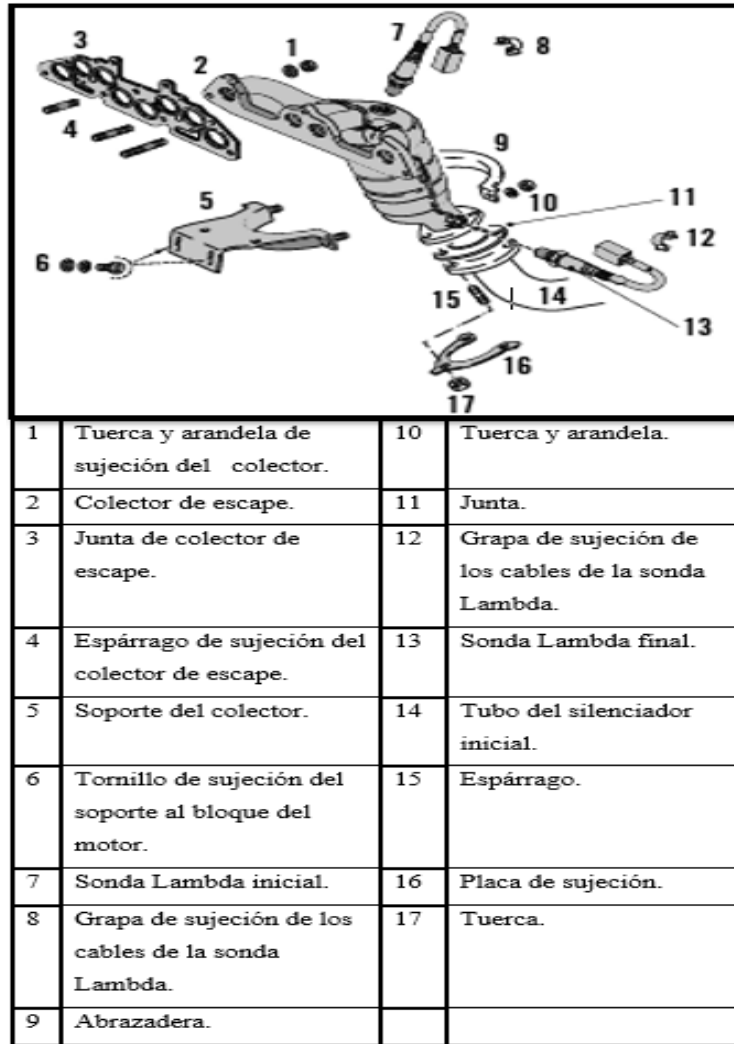


Figura 4 Partes del colector de escape con catalizador integrado.

(Melchor, 2012)

Los colectores con tubos largos en cabecera o ‘headers’ como se muestran en la Figura 5 permiten una mejor salida de los gases de escape, ya que disponen de un conducto por cada cilindro. Estos tubos independientes se van uniendo para terminar en un solo tubo. De esta forma, los gases de escape tienen más espacio para expandirse a la salida del motor (1) sin chocar con los gases de escape de otros cilindros. Sus inconvenientes son el espacio que ocupa, el ruido y la durabilidad. (Melchor, 2012, p.115)

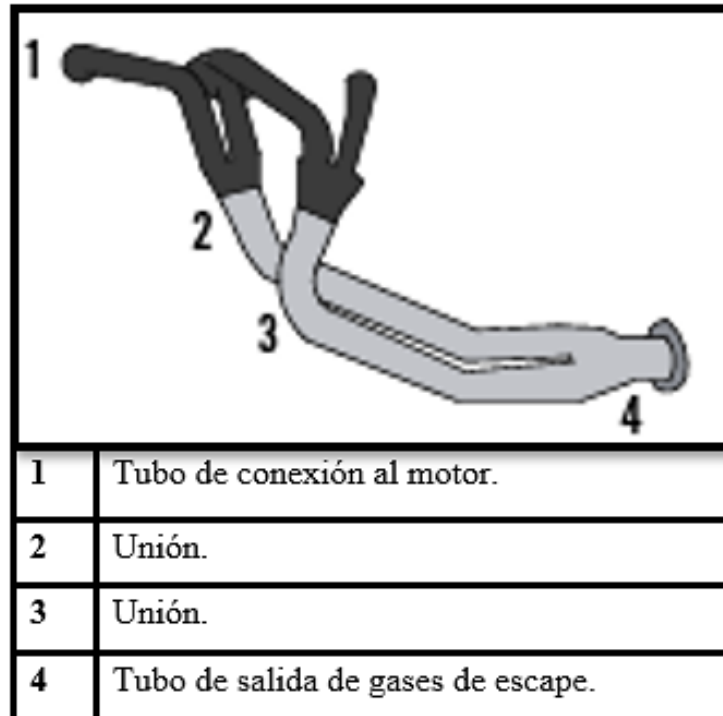


Figura 5 Partes del colector de escape de tubos largos de un motor de 4 cilindros.

(Melchor, 2012)

2.1.2 Convertidor Catalítico

A medida que se ha ido desarrollando la tecnología en el campo automotriz, está también ha comenzado a implementar sistemas que permiten el cuidado del medio ambiente, y uno de estos sistemas ha sido el catalizador, el cual permite que los gases contaminantes que se generan en el proceso de la combustión puedan ser convertidos en gases no contaminantes para el medio ambiente y la salud de las personas.

Existen tres tipos de catalizadores, de una sola vía, dos vías y de tres vías. Los catalizadores tienen en su interior una estructura en forma de panel como podemos observar en la figura 6 en donde se encuentran resina y metales como: platino, paladio o rodio. El catalizador trabaja a una temperatura aproximada de 400°C para que sea posible la reacción química. (Ferrer & Checa, 2010)

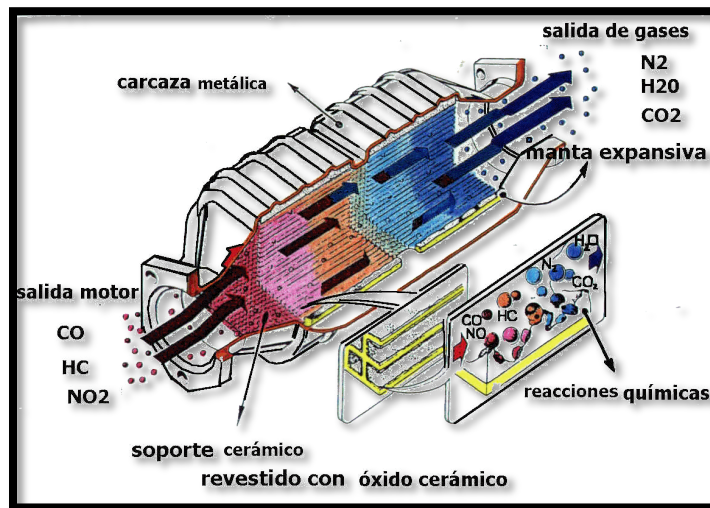


Figura 6 Catalizador seccionado.

(MotorGiGa, 2016)

2.1.2.1 Gases de escape del motor

Los gases de escape son sustancias residuales producidas por la combustión de la mezcla aire-combustible, estos pueden tener partículas sólidas en suspensión que son producidas en el proceso de combustión. (Melchor, 2012).

Estos gases están formados por diferentes moléculas que son

- Nitrógeno (N₂).
- Dióxido de carbono (CO₂).
- Vapor de agua (H₂O).
- Monóxido de carbono (CO).
- Oxígeno (O₂).
- Hidrocarburos (HC).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Óxidos de azufre (SO_x).
- Plomo (Pb).
- Partículas sólidas como el hollín.

En la figura 7 mostraremos el porcentaje de las moléculas y partículas que contienen los gases de escape producidos en la fase de combustión.

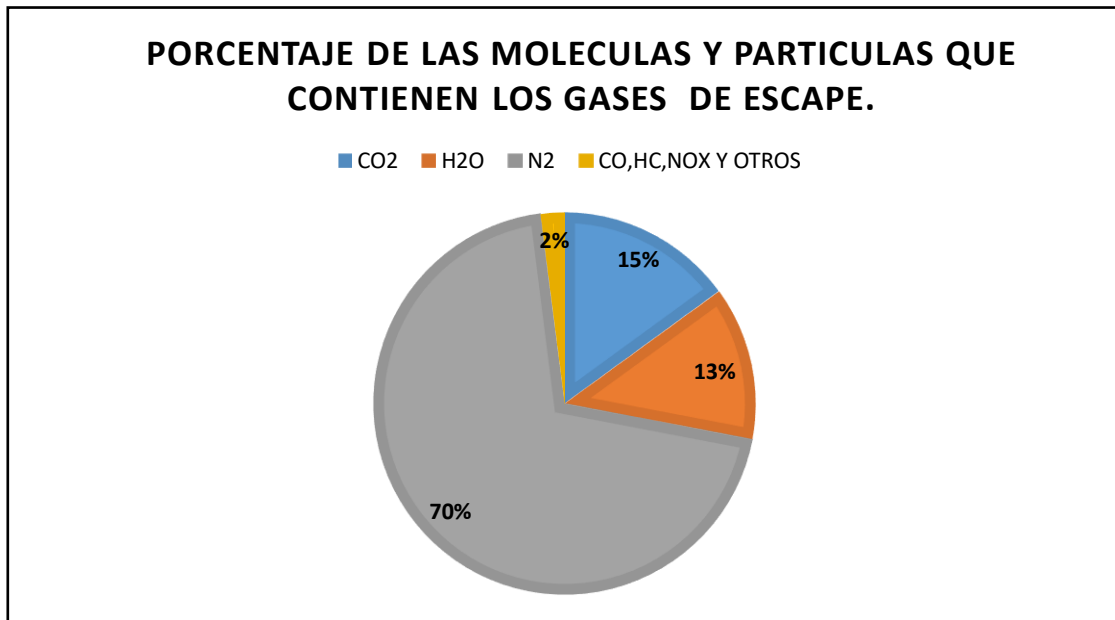


Figura 7 Porcentaje de moléculas y partículas que contienen los gases de escape.

(Melchor, 2012)

El componente en mayor proporción es el nitrógeno (N_2), seguido del dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), que normalmente esta en forma de vapor. En menor proporción se encuentran el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y partículas sólidas. (Melchor, 2012, p.87)

Estos gases para que puedan ser expulsados al exterior pasan por una serie de componentes o filtros que ayudan a disminuir la emisión de gases contaminantes presentes en los gases de escape. Uno de estos componentes es el catalizador, el cual hace que los gases contaminantes se conviertan en gases no contaminantes al pasar por este.

Los gases no tóxicos son.

- Nitrógeno (N_2).
- Oxígeno (O_2).
- Vapor de agua (H_2O).
- Dióxido de carbono (CO_2).

Los gases y partículas tóxicos son:

- Monóxido de carbono (CO).
- Hidrocarburos (HC).
- Óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Óxidos de azufre (SO_x).
- Plomo (Pb).
- Partículas sólidas como el hollín.

2.1.2.1.1 Gases no tóxicos

El **nitrógeno** es un gas no combustible incoloro e inodoro, es un componente fundamental y mayoritario del aire. Suele combinarse con el oxígeno en el proceso de combustión formando óxidos nítricos.

El **oxígeno** es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante en el proceso de combustión, ya que es imprescindible para el proceso de combustión de la gasolina.

El **vapor de agua** este se forma durante el proceso de combustión.

El **dióxido de carbono** no combustible, incoloro y en principio no es toxico.

2.1.2.1.2 Gases tóxicos

El **monóxido de carbono** es un gas incoloro e inodoro, muy toxico llegando a ser mortal para el individuo que aspira este gas, ya que bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Este se produce por una incompleta combustión de la gasolina, por exceso de aporte de gasolina o falta de aporte de oxígeno al motor.

Los **hidrocarburos** son componentes que no han podido quemarse durante el proceso de combustión. Su olor es fuerte y tiene un color azulado, estos elementos irritan los ojos, el aparato respiratorio, etc.

El **monóxido de nitrógeno** es incoloro, inodoro e insípido este al combinarse con el oxígeno forman dióxido de nitrógeno, que es de color marrón rojizo y de olor fuerte. Es venenoso y son perjudiciales para el medio ambiente puesto que reaccionan con el vapor de agua y forman compuestos ácidos que son responsables de la lluvia acida.

El **óxido de azufre** se forma al reaccionar el azufre que contiene la gasolina con el oxígeno.

Las **partículas sólidas** son partículas de hollín o cenizas. Se forman por una combustión incompleta de la gasolina.

El **plomo** es un metal pesado muy contaminante. Este ha sido reducido o desaparecido de los gases de escape de los vehículos ya que la gasolina que es utilizada actualmente no contiene plomo.

2.1.3 Presilenciador

El presilenciador como se muestra en la Figura 8 es una pieza que sirve para atenuar o reducir el nivel de emisión sonora o ‘ruido’ producidos por la salida de los gases de escape y está instalado antes del silenciador. El presilenciador se une con el silenciador mediante un tubo, o bien, directamente a ellos. (Melchor, 2012, p.115)

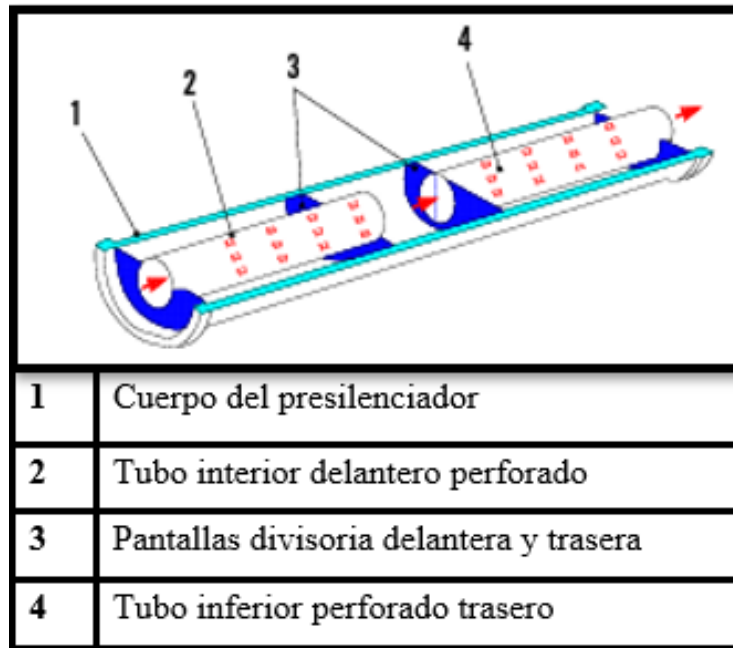


Figura 8 Partes del Presilenciador de escape

(Melchor, 2012)

2.1.4 Silenciador de escape

El silenciador es una pieza que atenúa o reduce el nivel de emisión sonora o ‘ruido’ producidos por la salida de los gases de escape y que se propagan por los conductos de escape. Está instalado después del presilenciador y tiene una longitud y diámetro variables según el vehículo.

El silenciador de escape es una pieza que está formada por varias cámaras o espacios que únicamente se comunican entre sí por tubos y orificios calibrados que existen entre las diferentes cámaras como se muestra en la Figura 9 (Melchor, 2012, p.117)

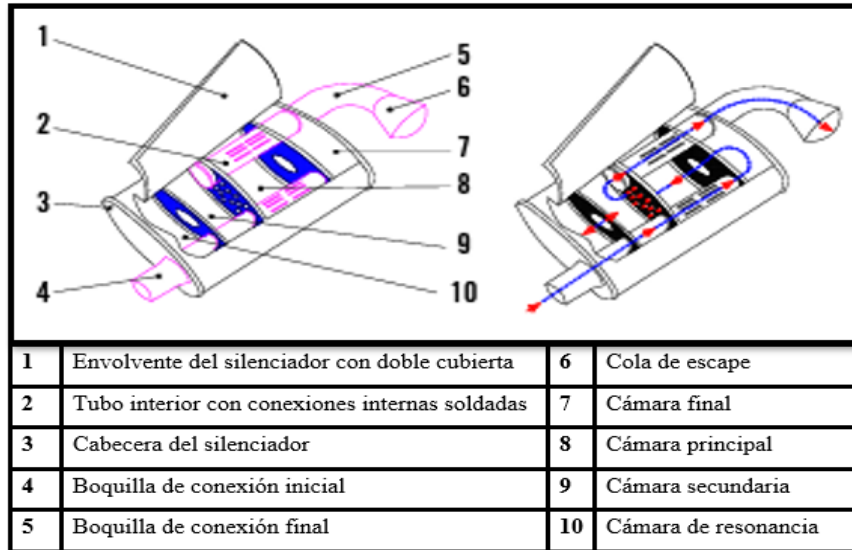


Figura 9 Partes de un silenciador de escape con tecnología por reflexión.

(Melchor, 2012)

2.1.4.1 Tipos de silenciadores

2.1.4.1.1 Silenciador por reflexión

El silenciador por reflexión como se muestra en la Figura 10 está diseñado para que las ondas sonoras reboten y sean reflejadas en una cámara o espacio, pasando luego por varias cámaras. Cuantas más cámaras de este tipo haya, más eficiente será la amortiguación del silenciador. Por tanto, se produce un cambio de sentido de los gases, lo cual implica una disminución del nivel de emisión sonora o ‘ruido’, pero también una mayor pérdida de potencia del motor.

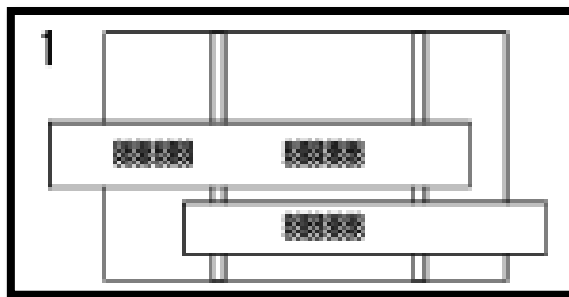


Figura 10 Silenciador por reflexión.

(Melchor, 2012)

2.1.4.1.2 Silenciador por absorción

El silenciador por absorción como se muestra en la Figura 11 utiliza una cámara que es atravesada por un tubo perforado. La cámara tiene en su interior un material absorbente de las vibraciones del sonido, que suele ser de lana mineral o fibras sintéticas. Al ser atravesado este material se consigue reducir el nivel de emisión sonora ‘ruido’, la forma de la perforación del tubo asegura que la lana no salga fuera del silenciador.

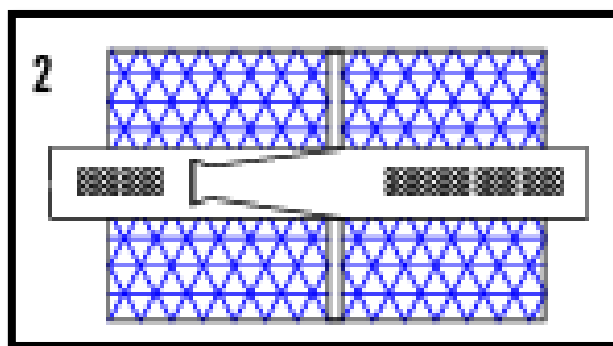


Figura 11 Silenciador por absorción.

(Melchor, 2012)

2.1.4.1.3 Silenciador por absorción y reflexión

El silenciador por absorción y reflexión combina los dos sistemas anteriores descritos como se muestra en la Figura 12, este sistema es utilizado en la construcción de los presilenciadores al ofrecer una buena reducción del ruido y sin verse tan disminuida la potencia del motor.

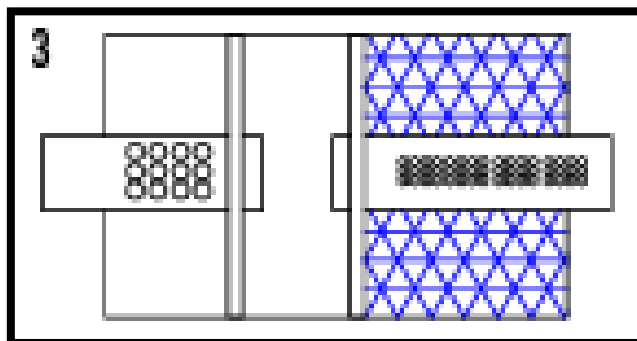


Figura 12 Silenciador por absorción y reflexión.

(Melchor, 2012)

Los silenciadores deben diseñarse no solo para reducir el ruido, sino para que a su vez no sea un obstáculo para la salida de gases de la combustión. Por tanto, se trata de reducir el ruido sin reducir excesivamente la potencia del motor. Los vehículos de competición diseñan sus sistemas de escape para aumentar al máximo la potencia del motor, pudiendo estar aquí la clave para ganar o perder una carrera. (Melchor, 2012, p.118)

2.2 Tipos de colectores de escape

En el caso de los motores policilíndricos, Los cilindros del motor descargan en tubos individuales de mayor o menor sección, longitud y con la posibilidad de juntarse en parejas, tríos o agrupaciones superiores. Cada una de estas disposiciones presenta unas características determinadas y es trabajo del diseñador determinar la que le permitirá satisfacer de la mejor manera posible las especificaciones de diseño que se le han impuesto. Hay que destacar que, en general y excepto casos muy específicos, es muy recomendable intentar mantener la máxima igualdad o simetría entre los distintos cilindros (en lo que se refiere a longitudes, secciones y agrupaciones de los tubos de escape).

El motivo de esto es garantizar que todos los cilindros trabajan de forma parecida, ya que en el caso que esto no sucediera se podrían producir desequilibrios en el funcionamiento del motor con consecuencias catastróficas a largo plazo. (Casanovas, 2005, p.240)

En el caso de un motor de cuatro cilindros en línea, los más comunes, se pueden encontrar básicamente cuatro opciones distintas:

- Escapes individuales: En este caso el tubo de salida del escape de cada cilindro se prolonga individualmente sin interferir con los demás hasta que los gases salen al exterior. Este sistema tiene la ventaja de que no existe interferencia entre unos cilindros y otros, con lo que el diseño es más sencillo (el problema queda reducido al estudio de un monocilíndrico), pero en cambio se encarece por tener mayor número de conductos, silenciadores, catalizadores... Además, es un sistema muy pesado y poco aconsejado en cualquier circunstancia.
- Escape en 4-1: El caso extremo al anterior, puesto que consiste en agrupar todos los colectores en un solo punto como vemos en la Figura 13, En este caso tenemos una gran facilidad constructiva del sistema como una de las grandes ventajas, así como su

ligereza. Este tipo de escapes producen una onda de depresión bastante elevada que suele emplearse para mejorar el llenado a altos regímenes; sin embargo, esto implica una efectividad reducida a regímenes medios y bajos.

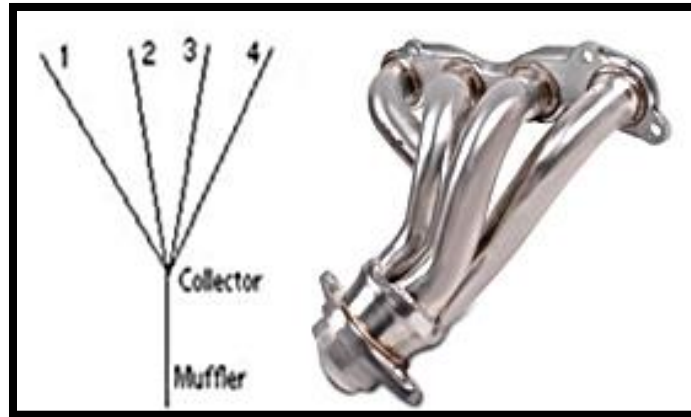


Figura 13 Colector de escape 4 en 1.

(Tarquino, 2014)

- Escape en 4-2-1 : Este colector que se muestra en la Figura 14 es sin duda el sistema de escape más elaborado de todos. En este tipo de escape se crean dos ondas de depresión de poca intensidad que llegan al cilindro durante el periodo de cruce (en un sistema bien diseñado), lo que proporciona ventajas a medio régimen. Sin embargo, a elevado régimen la segunda onda de depresión llega demasiado tarde, por lo que resulta comparativamente más desventajoso a alto régimen que el 4-1, del orden de un 5-7%. Presenta prácticamente las mismas ventajas que el 4-1 en lo que a peso y espacio se refiere.

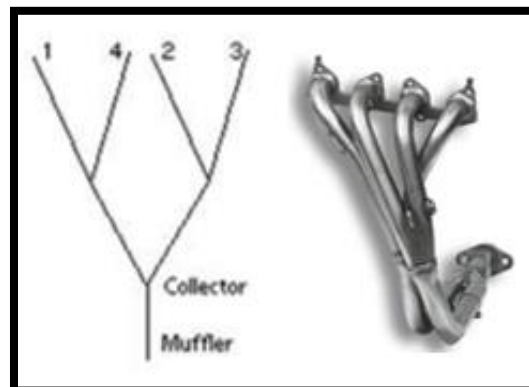


Figura 14 Colector de escape 4-2-1

(Tarquino, 2014)

- Escape doble en 2-1: cómo podemos observar en la Figura 15 posiblemente esta sea la configuración menos usada de las cuatro. Presenta casi los mismos problemas de espacio y peso que el escape individual sin aportar grandes mejoras a ningún régimen. (Casanovas, 2005, p.241).

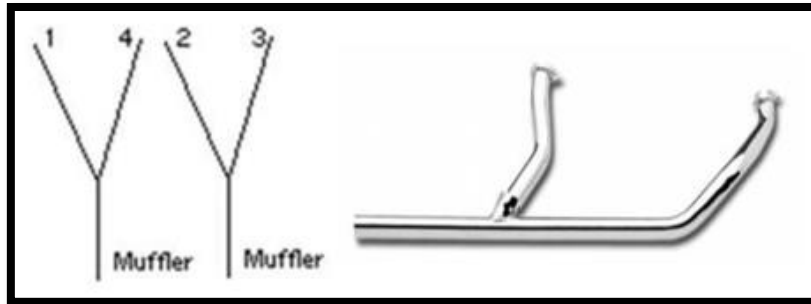


Figura 15 Colector de escape doble 2-1

(Tarquino, 2014)

Además de la disposición de los conductos, el otro factor determinante para estudiar el comportamiento de un escape es su geometría constructiva, que fundamentalmente se determina mediante los siguientes parámetros:

- Longitud del tubo de escape : Como se ha dicho anteriormente, una correcta elección de la longitud de los conductos de escape permite sincronizar las ondas de depresión que se generan con la abertura de las válvulas.
- Sección del tubo de escape : La elección de la sección del tubo de escape es un compromiso entre dos tendencias contrapuestas. De su elección depende básicamente la velocidad de los gases de escape que circulen por su interior. Una elevada velocidad implica ondas de más intensidad, por lo que los efectos de succión serán más acusados, pudiendo sin embargo llegar a saturar el conducto en el caso de llegar al índice de Mach².
- Geometría de las ramificaciones : Este punto finalmente tiene importancia en el sentido que es importante diseñar las intersecciones de forma que obstaculicen lo menos posible el paso de los gases de escape. En caso de hacerlo, se presentarían ondas de retorno de sobrepresión en lugar de depresión.

² Numero de Mach: es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto.

2.3 Temperatura en el sistema de escape

Un vehículo con catalizador puede alcanzar en los colectores de escape una temperatura próxima a 900°C, llegando en algunos casos a los 1000°C, inmediatamente después del colector va montado el catalizador, siendo su temperatura de trabajo 800°C. La salida del catalizador comunica con un silenciador intermedio que reduce la presión de los gases de escape, su temperatura de trabajo varía entre 400°C y 500°C como se muestra en la Figura 16, es importante destacar la importancia de su diseño, sobre todo a nivel de fiabilidad, ya que si se produjese una rotura o desprendimiento de uno de los tabiques o elementos internos del silenciador intermedio, provocaría la obturación del sistema de escape y aumentaría la temperatura del catalizador con el consiguiente riesgo de fusión del grupo cerámico que hay en su interior.

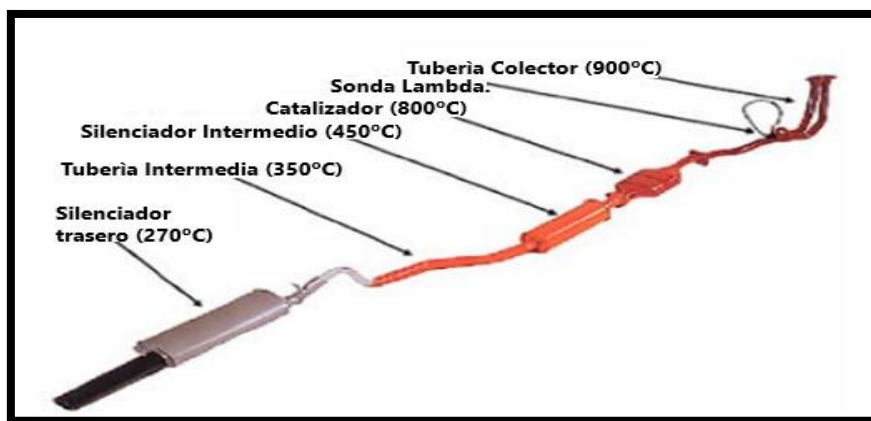


Figura 16 Temperatura en los diferentes tramos del sistema de escape.

(Casanovas, 2005)

El silenciador intermedio conecta con el silenciador trasero a través de un conducto intermedio con formas complejas, debido al gran número de obstáculos que tiene que sortear (suspensiones, transmisiones, sistemas de freno y latiguillos), y minimizar al mismo tiempo las pérdidas de carga. Este conducto se suele fabricar con chapa embutida-soldada y conformada posteriormente de forma conveniente. Debido a la peculiar geometría del conducto intermedio y su temperatura de trabajo, entre 300°C y 400°C, comienzan a licuarse en él diversas sustancias formadas durante la combustión, pasando al silenciador trasero, donde las temperaturas han bajado entre 260°C y 280°C. Por este motivo, la corrosión y la oxidación son muy activas en el tramo del sistema de escape que va desde el silenciador trasero hasta la salida del silenciador

intermedio, siendo este fenómeno especialmente grave cuando se utiliza el vehículo en trayectos cortos, en donde no se alcanzan las temperaturas de trabajo y la cantidad de líquido aumenta, al no ser capaz el sistema de evaporar todos los líquidos que se producen como consecuencia de la combustión. Dichos líquidos reaccionan químicamente transformándose en ácidos sulfúricos y sulfurosos, con lo que la corrosión es muy activa en todo el sistema.

El colector, el catalizador y el silenciador intermedio, al soportar temperaturas de trabajo mayores, poseen una durabilidad superior al del conducto intermedio y el silenciador trasero, aunque la buena conservación de estos componentes es vital para el correcto funcionamiento de las piezas anteriores del sistema. (Casanovas, 2005, p.397-398)

Para medir la temperatura del sistema de escape utilizaremos un termómetro de infrarrojo como podemos observar en la figura 17, donde se hará posible una medición de la temperatura sin contacto por medio de la radiación infrarroja de un cuerpo. (pce-iberica, 2015).



Figura 17 Medidor de temperatura infrarrojo.

(pce-iberica, 2015)

2.4 Sonido

Según la opinión de Carrion Isbert (2006) el sonido es: “Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva.” (p.27)

Para poder medir diferentes frecuencias, el ser humano se ha visto en la necesidad de fabricar un dispositivo electrónico que nos permita medir sonidos bajo unas condiciones rigurosamente prefijadas, de manera que los resultados obtenidos sean siempre objetivos y repetitivos, dentro de unos márgenes de tolerancia conocidos. Dicho aparato recibe el nombre de sonómetro (Carrion Isbert, 2006, 39)



Figura 18 Sonómetro.

(Carrion Isbert, 2006)

2.4.1 Rango de frecuencia

Para que el ser humano pueda oír un determinado sonido su frecuencia debe estar comprendida entre los 20 y los 20.000 Hz. (Fotonostra, 2014)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el oído humano puede tolerar 55 decibeles sin ningún daño a su salud. En la Tabla 1 se podrá observar los niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada.

Tabla 1 Niveles de presión sonora correspondientes a sonidos y ruidos típicos, y valoración subjetiva asociada.

Fuente sonora	Nivel de presión sonora SPL (db)	Valoración subjetiva del nivel.
Despegue avión (a 60m)	120	Muy elevado
Edificio en construcción.	110	
Martillo neumático.	100	
Camión pesado (a 15 m)	90	Elevado.
Calle (ciudad)	80	
Interior automóvil.	70	
Conversación normal (1 m)	60	Moderado
Oficina, aula	50	
Sala de estar	40	
Dormitorio (noche)	30	Bajo
Estudio de radiodifusión	20	

En la Tabla 2 se podrá observar los niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores permitidos en el país.

Tabla 2 Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores.

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	NPS MAXIMO (dBA)
Motocicletas:	De hasta 200 centímetros cúbicos.	80
	Entre 200 y 500 c. c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
Vehículos:	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas.	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Vehículos de Carga:	Peso máximo hasta 3,5 toneladas	81
	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12,0 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12,0 toneladas	88

2.4.2 Norma para la medición de sonido de un tubo de escape

De acuerdo a la norma “límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones” (Presidencia de la republica, 2003). La medición de los ruidos en el ambiente exterior producidos por vehículos automotores se efectuará con el

vehículo estacionado, a su temperatura normal de funcionamiento, y acelerado a $\frac{3}{4}$ de su capacidad.

Estas mediciones serán efectuadas utilizando un sonómetro el mismo que ubicará su micrófono a 0.5m del tubo de escape y a una altura no inferior de 0.2 m del tubo de escape con un ángulo de 45 grados con el plano vertical como podemos observar en la Figura 19 que contiene la salida de los gases de escape.



Figura 19 Medición del ruido que producen los vehículos en el ambiente con un sonómetro.

(Jimenez, 2017)

2.5 Tipos de fluidos y flujos en los múltiples

En el escape, el fluido está formado por una mezcla de productos quemados y no quemados resultantes de la combustión, en los cuales el mayor porcentaje de la mezcla es nitrógeno. A pesar de las diferencias que puede presentar el fluido en los múltiples de admisión y escape, las simulaciones del proceso de renovación de la carga se basan generalmente en modelos de flujo de aire. Usualmente se ignoran en ellos las variaciones en composición y la presencia de cualquier película de combustible en las paredes de los múltiples. (Peña, Santamaria, & López, 2008, p.12).

2.6 Efectos de las ondas en escape

El movimiento cíclico del pistón genera, a través del flujo ondas de presión y expansión que viajan por los múltiples, cuando la válvula de escape está abierta y los gases salen del cilindro, viajan hacia el exterior ondas de compresión que se reflejan al llegar al extremo abierto, retornando como ondas de expansión. Entre las ondas existe un desfase angular que puede identificarse para sintonizar la llegada de la onda de expansión con el momento en el cual se vuelve a abrir la válvula. (Cuadrado Peña, Agudelo Santamaría, & Sánchez López, 2008)

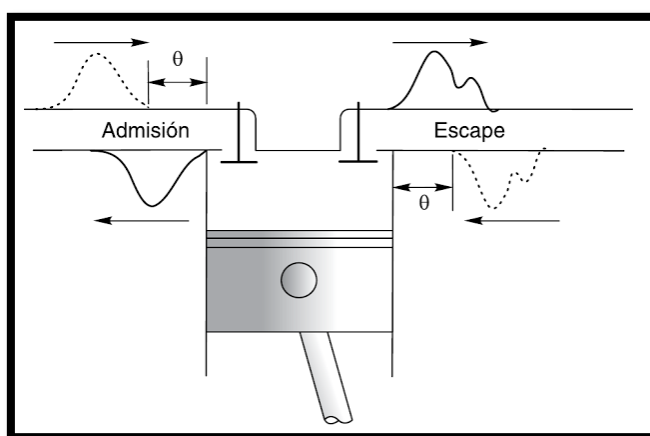


Figura 20 Movimiento de las ondas de presión y expansión que se generan en el cilindro

(Peña, Santamaria, & López, 2008)

La onda de propagación reflejada puede producir dos tipos de beneficios en el motor. Por una parte, si la onda reflejada llega durante el cruce de válvulas puede producir un efecto de succión que ayuda a evacuar los gases del cilindro, a reducir residuales y eventualmente a producir corto circuito desde la admisión al escape. Por otra, si la onda de rarefacción³ llega durante la carrera de escape reducirá la presión en la válvula y por lo tanto el trabajo de bombeo. (Armas Vergel et al, 2011, p. 227).

³ Rarefacción: Proceso por el que un cuerpo o sustancia se hace menos denso.

2.7 Ecuaciones de transporte

Para analizar el comportamiento del flujo en el sistema de escape se emplean las ecuaciones generales de Naviera Stokes, las cuales nos indican el principio de conservación de la masa, la conservación de energía y conservación de momento lineal. Estas ecuaciones son empleadas a un volumen de control, el mismo que será considerado flujo unidimensional y transitorio durante todo el recorrido del sistema de escape. (Peña, Santamaria, & Lopéz, 2008, p.13)

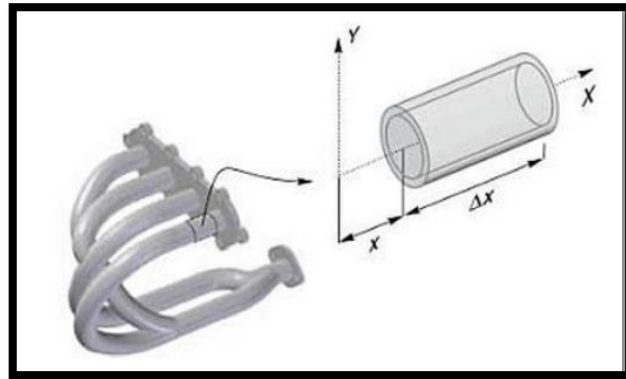


Figura 21 Volumen de control.

(Peña, Santamaria, & Lopéz, 2008)

En este volumen para los balances de energía, masa y momento lineal, se requiere definir la relación entre los flujos por unidad de área en las caras ubicadas en “x” y en “x+Δx”, para lo cual se emplea la serie de Taylor:

$$(\Phi \rho u A)_x * \Delta x = (\Phi \rho u A)_x + \frac{\partial (\Phi \rho u A)_x * \Delta x \partial x}{\Delta x} \quad \text{EC. 1}$$

Donde:

Φ = Variable que representa cualquier propiedad

ρ = Densidad (kg/m³)

u = Velocidad (m/s)

A = Área (m²)

Δx = Variación de x (m)

Donde $\phi=1,0$ para la conservación de la masa, el momento y la energía respectivamente. El subíndice 0 hace referencia a las propiedades de remanso.

2.8 Conservación de la masa

Esta ecuación expresa que el cambio de masa dentro del volumen debe ser igual a la diferencia entre los flujos máxicos que entran en “ x ” y salen en “ $x+\Delta x$ ” del volumen. Se representa esta ley en términos matemáticos para la geometría mostrada:

$$\frac{\partial \rho A \Delta x}{\partial t} = (\rho u A)_x - (\rho u A)_{x+\Delta x} \quad \text{EC. 2}$$

Como el área transversal se considera constante, al dividir por el volumen ($A\Delta x$) y teniendo en cuenta la ecuación 1 y la ecuación 2 se transforma en:

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0 \quad \text{EC. 3}$$

2.9 Conservación de la cantidad de movimiento

Esta ecuación expresa un balance de la cantidad de movimiento lineal en el volumen de control: el cambio en la cantidad de movimiento dentro del volumen debe ser igual a la diferencia entre los flujos de cantidad de movimiento que entran y salen, más la resultante de fuerzas que actúan sobre el fluido. Se asume que sólo existe fricción entre el fluido y el sólido, este balance se presenta solo en la dirección de flujo y la convección de signos adoptada establece como positivas las fuerzas en dirección positiva del eje x . Se desprecia las fuerzas gravitacionales y se tiene en cuenta las fuerzas originadas por el gradiente de presiones y la fricción en las paredes.

$$\frac{\partial(\rho u A \Delta x)}{\partial t} = [(\rho u)u A]_x - [(\rho u)u A]_{x+\Delta x} + [(pA)_x - (pA)_{x+\Delta x}] - \tau \pi D \Delta x \quad \text{EC. 4}$$

Donde:

τ = Esfuerzo viscoso (Pa.s)

p = Presión (Pa)

D = Diámetro del conducto (m)

π = Relación entre las presiones del cilindro y el conducto

Al dividir por el volumen ($A\Delta x$) y teniendo en cuenta la ecuación EC. (2.1), esta ecuación se transforma en:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)u}{\partial x} + \frac{\partial(p)}{\partial x} + \frac{\tau\pi D}{A} = 0 \quad \text{EC. 5}$$

2.10 Conservación de la energía

Representa un balance, ahora expresado por la primera ley de la termodinámica: el cambio de energía cinética e interna del fluido en el volumen, debe ser igual a la diferencia de flujos de energía que entran y salen del volumen con los flujos másicos, más el flujo neto de energía por transferencia de calor y menos el trabajo realizado por el sistema.

$$\frac{\partial(\rho e_0 A \Delta x)}{\partial t} = [(\rho e_0 u \Delta x)_{x-} - (\rho e_0 u \Delta x)_{x+\Delta x}] + [(p u A)_{x-} - (p u A)_{x+\Delta x}] + q \quad \text{EC. 6}$$

Donde:

q = Calor Transferido por convección (W)

e_0 = Energía (J/kg)

h_0 = Entalpía (J/kg)

Donde q es el calor transferido desde el volumen hacia los alrededores y solo existe trabajo de flujo realizado por las fuerzas de presión sobre el sistema. Teniendo en cuenta la relación entre entalpía y energía dada por la ecuación 6a:

$$h_0 = e_0 + \frac{P}{\rho} \quad \text{EC. 6a}$$

Al dividir por el volumen ($A\Delta x$), la ecuación EC. (2.6) se transforma en:

$$\frac{\partial(\rho e_0)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u h_0)}{\partial x} + \frac{\partial(p)}{\partial x} + \frac{q}{A\Delta x} = 0 \quad \text{EC. 7}$$

2.11 Fricción

Los esfuerzos viscosos en el flujo a través de los múltiples (efecto que generalmente se desprecia) puede expresarse en términos de un factor de fricción f como:

$$\tau = \frac{1}{2} \rho u^2 f \quad \text{EC. 8}$$

Para determinar el factor de fricción se realiza de diferentes formas, entre algunas tenemos:

- Medición experimental.
- Adopción de un valor constante entre 0.004 y 0.001
- Evaluación en función del número Reynolds

2.12 Transferencia de calor

El flujo a través del colector de escape trasfiere calor por convección, radiación y conducción, el de mayor contribución es mediante convección que puede calcularse a partir de:

$$q = h\pi D\Delta(T_w - T_g) \quad \text{EC. 9}$$

El coeficiente convectivo h se calcula mediante la ecuación EC. (2.9a)

$$h = \frac{f}{2} \rho u c_p \quad \text{EC. 9a}$$

Donde:

h = Coeficiente convectivo ($W/(m^2 \cdot ^\circ K)$)

T_w = Temperatura media de la pared ($^\circ K$)

T_g = Temperatura media del gas ($^\circ K$)

c_p = Calor específico a presión constante (1005 J/kg)

2.13 Ecuaciones generalizadas

Al remplazar el esfuerzo viscoso y el coeficiente convectivo en términos del factor de fricción las ecuaciones 3,5 y 7 se transforma en:

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0 \quad \text{EC. 10}$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)u}{\partial x} + \frac{\partial(p)}{\partial x} + \frac{2\rho u|u|f}{D} = 0 \quad \text{EC. 11}$$

$$\frac{\partial(\rho e_0)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u h_0)}{\partial x} + \frac{\partial(p)}{\partial x} - \frac{2fcp\rho(T_w - T_g)}{D} = 0 \quad \text{EC. 12}$$

El valor absoluto de la velocidad se emplea con el fin de garantizar que la dirección de la fuerza viscosa sea siempre contraria al movimiento del fluido.

En la Tabla 3 se presentan los parámetros de las ecuaciones de la siguiente forma:

Tabla 3 Parámetros de la ecuación de la conservación.

Parámetros.	W	F(W)	C(W)
Continuidad.	ρ	ρv	0
Conservación de la cantidad de movimiento	ρu	$\rho u^2 + p$	$\frac{2\rho u u f}{D}$
Conservación de energía	ρe_0	ρh_0	$\frac{2fcp\rho(T_w - T_g)}{D}$

$$W = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho e_o \end{bmatrix} \quad F(W) = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho u^2 + p \\ \rho h_o \end{bmatrix} \quad C(W) = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{2\rho u|u|f}{D} \\ -\frac{2f\rho u c_p(T_w - T_g)}{D} \end{bmatrix} \quad \text{EC. 13}$$

Estas ecuaciones son del tipo diferencial parcial y están constituidas por términos que presentan:

$\frac{\partial(W)}{\partial t}$: La acumulación de las propiedades (masa, cantidad de movimiento y energía) en el volumen de control.

$\frac{\partial F(W)}{\partial x}$: El flujo neto de las propiedades a través del volumen de control se denominan términos convectivos.

(w) : La generación o destrucción de las propiedades en el volumen de control denominados términos fuentes.

Para poder medir el flujo de los gases en el sistema de escape utilizaremos un instrumento conocido como flujómetro como el que podemos ver en la figura 22, el cual nos permitirá medir el caudal lineal, no lineal, de masa o volumétrico de un líquido o gas.



Figura 22 Medidores de flujo.

(capsa mexico, 2009)

2.14 Ecuaciones para el diseño del sistema de escape

Las fórmulas que se utilizaran para el diseño del sistema de escape son:

2.14.1 Longitud del colector primario

$$P = \frac{850 * ED}{RPM} - 3 \quad \text{EC. 14}$$

P= longitud del colector primario (PLG)

ED= 180° más los grados de apertura de la válvula de escape

RPM= número de revoluciones por minuto a las que se quiere sintonizar el motor

Para determinar la longitud de p_1 y p_2 se tiene la condición de que la longitud de p_1 debe ser mayor o igual a 15 pulgadas ($p_1 \geq 15\text{plgs}$)

Y

$$p_2 = p - p_1 \quad \text{EC. 15}$$

2.14.2 Diámetro del colector primario

$$ID = \sqrt{\frac{CC}{(P+3)*25}} * 2.1 \quad \text{EC. 16}$$

En donde:

ID: diámetro del colector primario (plg).

cc: volumen del cilindro en centímetros cúbicos.

P: longitud primaria (plg).

2.14.3 Longitud del colector secundario

$$L_S = P + 3 \quad \text{EC. 17}$$

Donde:

L_S : Longitud del colector secundario (plg).

P: longitud del colector primario.

3: valor en pulgadas.

2.14.4 Diámetros del colector secundario

$$IDS = \sqrt{ID^2 * 2} * 0.93 \quad \text{EC. 18}$$

En donde:

IDS: Diámetro del conducto secundario.

ID: Diámetro del primero calculado.

2.15 Software de Diseño asistido

El software de diseño asistido es una herramienta que nos permite utilizar la tecnología informática para el diseño y la documentación sobre diseño, el software de diseño nos permite reemplazar los dibujos a mano con procesos más automatizados. Estos programas permitirán ayudarlo a explorar nuevas ideas de diseño, visualizar conceptos mediante renderizaciones fotorrealistas y también simular el rendimiento de un diseño en el mundo real.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el software de diseño asistido ANSYS.

2.15.1 ANSYS

ANSYS es un ecosistema de programas CAE (CAE, del inglés Computer Aided Engineering, ingeniería asistida por computadora) para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA (FEA, siglas en inglés de Finite Element Analysis, análisis por elementos finitos), incluye las fases de preparación de meshing ó malleo , ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería y diseño mecánico , puede resolver problemas físicos sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas, brevemente se describen sus módulos principales por disciplina.



Figura 23 Logo de ANSYS.

(ANSYS, ANSYS, 2019)

2.15.1.1 ANSYS Workbench

Es una plataforma de software desde donde se crean los proyectos de análisis CAE en diferentes disciplinas, Workbench despliega gráficamente el intento de la simulación en ingeniería y se establecen las relaciones entre fenómenos físicos y sus módulos incluyendo multi física. La plataforma ANSYS Workbench incluye software y componentes para diferentes fenómenos.

Los componentes que incluye el ANSYS workbench son el ANSYS CAD connections, DesignModeler, Meshing, DesignXplorer y FE Modeler. (3dcadportal, 2018)

2.15.2.2 Análisis de Fluidos Dinámicos

ANSYS CFX es un programa de análisis y simulación CFD (Computational Fluids Dynamics) de propósito general, usadas para problemas de fluidos, tiene herramientas de modelado, malleo y simulación en una interface moderna que da cabida a una amplia gama de resolución de problemas. ANSYS CFX se integra con la plataforma ANSYS Workbench de forma bidireccional para compartir información de modelado y mallas. Por ejemplo, en la Figura 24 tenemos **Fluent** un programa CFD o de análisis de fluidos para una gama de aplicaciones en el modelado y simulación de flujos que incluye turbulencia, reacciones o efectos térmicos. (3dcadportal, 2018)

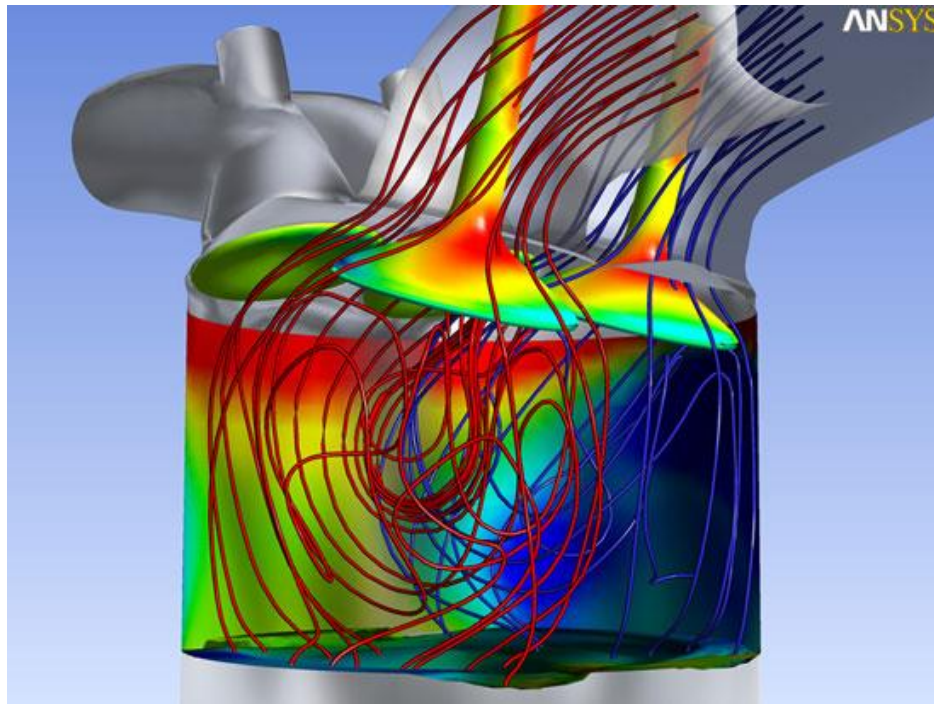


Figura 24 Simulación de flujo en un cilindro utilizando ANSYS

(3dcadportal, 2018)

CAPÍTULO III

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO EN EL SISTEMA DE ESCAPE

3.1. Generación del dibujo 3D del sistema de escape

3.1.1 Presentación del diseño del sistema de escape original

El sistema de escape del vehículo Chevrolet Sail, es modelado en un software CAD el cual tendrán sus medidas originales para que este pueda ser simulado y podamos medir las variables que necesitamos estudiar.

Se tomará en cuenta de qué material está fabricado el sistema de escape, el cual con dichas especificaciones tendremos que ingresar al sistema del software que usaremos para simular y podamos obtener resultados reales.

En la Figura 25 se muestra el múltiple de escape original y el múltiple de escape dibujado en el software de modelado CAD en los que trabajaremos con las medidas y características originales del sistema de escape en donde conocemos que el múltiple está fabricado en hierro fundido.



Figura 25 Múltiple de escape dibujado en CAD y original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 26 se muestra el catalizador del sistema de escape original y el catalizador dibujado en el software de modelado CAD en el cual observamos que está fabricado en una carcasa metálica y en uno de sus extremos tiene una curvatura por la cual van a salir los gases de escape combustionados luego de haber cruzado el interior del catalizador y haber realizado el proceso convertir los gases contaminantes en gases no contaminantes.



Figura 26 Catalizador dibujado en CAD y original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 27 se muestra el tramo intermedio del sistema de escape original y el mismo dibujado en el software de modelado CAD, este elemento tiene una forma especial ya que atraviesa un sector en el cual el tramo intermedio toma una curvatura pronunciada.



Figura 27 Tramo intermedio dibujado en CAD y original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 28 se muestra el tramo intermedio con el resonador original del sistema de escape original y el mismo dibujado en el software de modelado CAD, este tramo está unido al resonador de escape y el cual podemos apreciar en su diseño las curvas que toma el tramo del sistema de escape.

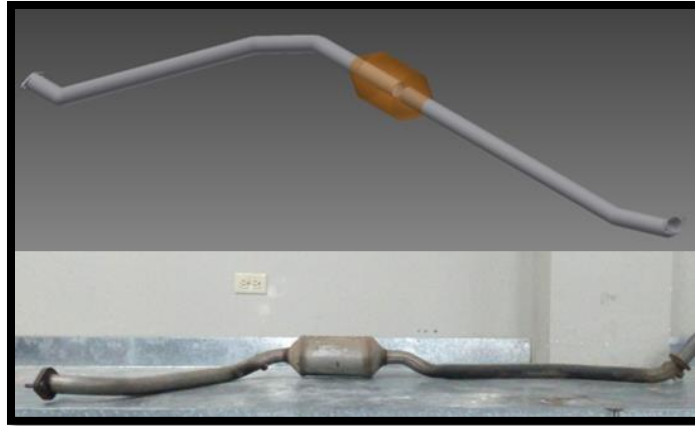


Figura 28 Tramo intermedio con resonador dibujado en CAD y original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 29 se muestra el silenciador del sistema de escape original y el mismo dibujado en el software de modelado CAD en donde observaremos que su forma es tipo triangular y en sus vértices son redondos y tiene un diseño interior el cual tiene diferentes recamaras por donde los gases de escape hacen el recorrido antes de salir al exterior.

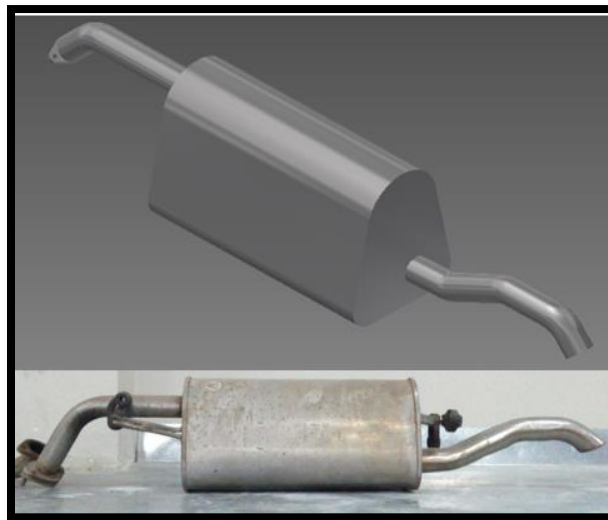


Figura 29 Silenciador dibujado en CAD y original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 30 se muestra el sistema de escape original completo y ensamblado. En donde podemos apreciar las curvas en cada uno de los tramos del sistema de escape.

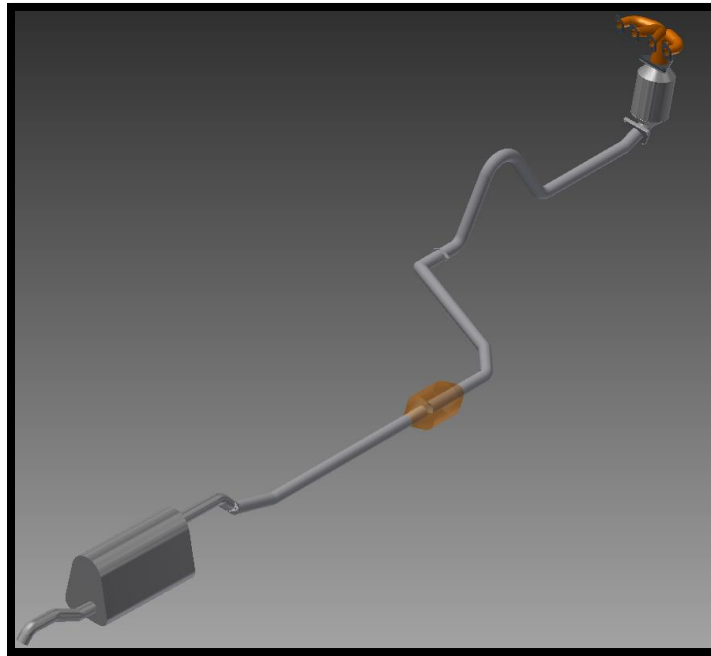


Figura 30 Ensamble escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 31 se muestra el despiece del sistema de escape original junto al vehículo del cual estamos realizando la investigación.



Figura 31 Despiece del sistema de escape del vehículo.

(Suntaxi 2018)

3.1.2 Presentación del nuevo diseño del sistema de escape para el vehículo Chevrolet Sail

Para la investigación se procedió a modificar diferentes partes del sistema de escape original del vehículo Chevrolet Sail, los cuales serán simulados en el software CFD, el cual utilizaremos para analizar las variables que han sido medidas en el sistema de escape original y poder realizar una comparación.

En la Figura 32 se muestra el diseño del catalizador modificado en el software de modelado CAD. La modificación de este elemento se basará en eliminar el contenido interno del catalizador para que los gases puedan fluir sin restricciones a lo largo del sistema de escape.

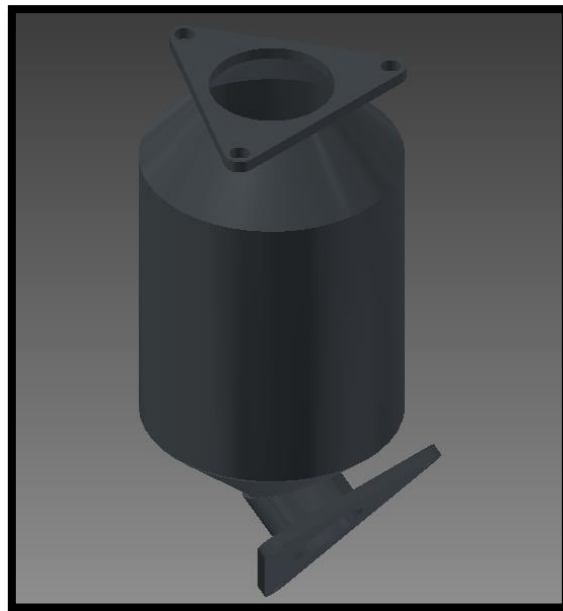


Figura 32 Catalizador modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 33 se muestra el diseño del tramo intermedio modificado en el software de modelado CAD. El tramo de este elemento será modificado aumentando el diámetro del tubo de escape de $1\frac{3}{4}$ de pulgadas a 2.0 pulgadas de diámetro y el material del cual será fabricado es de hierro negro.

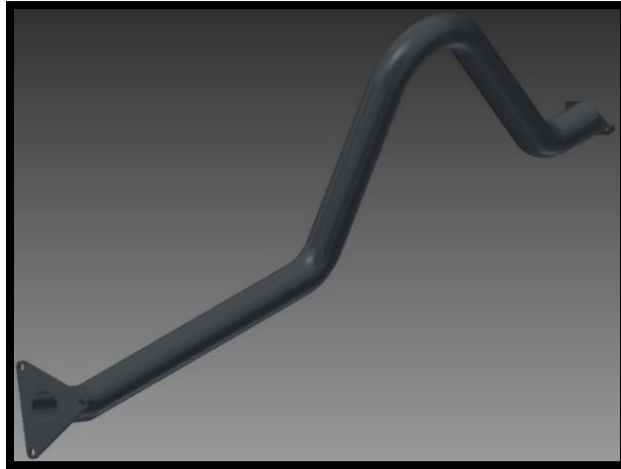


Figura 33 Tramo intermedio modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 34 se muestra el tramo intermedio del resonador de escape modificado en el software de modelado CAD. En donde el resonador de escape será modificado el cual tendrá en su interior un tubo con perforaciones de diámetro de 6mm que cruzaran a lo largo del resonador a diferencia del resonador de escape original.

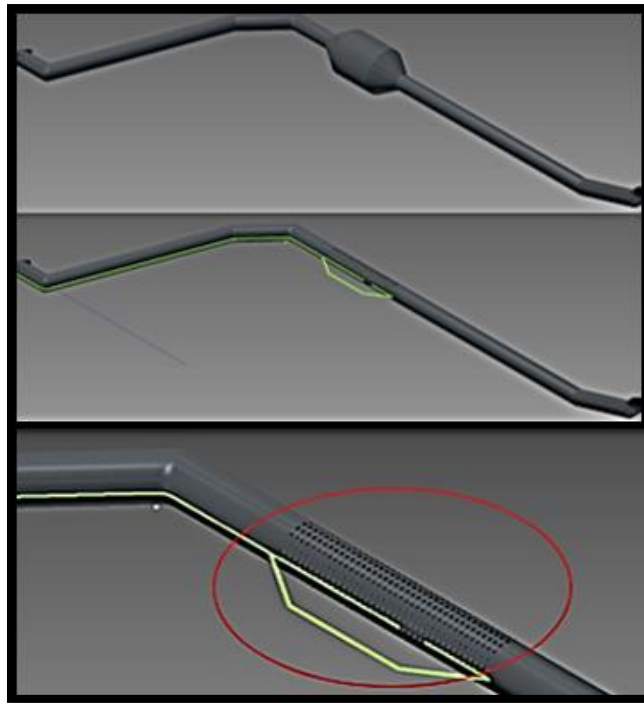


Figura 34 Tramo intermedio del resonador de escape modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 35 se muestra el silenciador de escape modificado en el software de modelado CAD, en donde habrá una diferencia en el interior con las recamaras y los tubos interiores. Este elemento será fabricado en chapa metálica hierro negro.

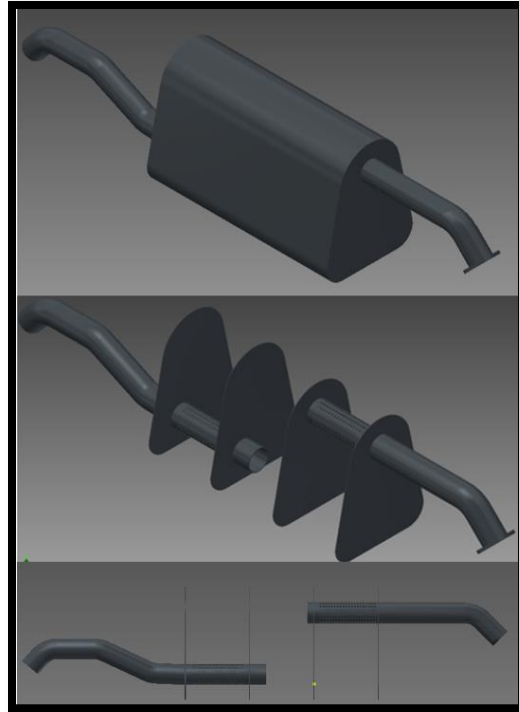


Figura 35 Interior del silenciador modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 36 se muestra sistema de escape modificado ensamblado diseñado en el software de modelado CAD el cual tendrá el mismo modelo en curvas para que este pueda situarse sin problema en el lugar del escape original.

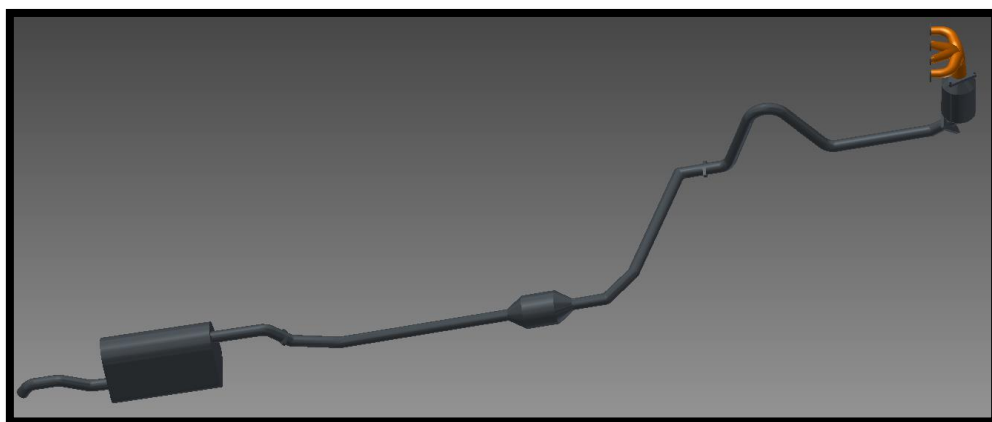


Figura 36 Sistema de escape modificado ensamblado.

(Suntaxi 2018)

3.2 Importación de los dibujos 3D del sistema de escape original y modificado al software de dinámica de fluidos computacional (CFD)

CFD emplea un método el cual permite la simulación de un fluido a través de un sistema, este mediante la solución de ecuaciones diferenciales parciales de la conservación de masa, energía, y cantidad de movimiento aplicado a un cuerpo geométrico infinitesimal mediante una malla podemos obtener las variables analizadas en cada parte del cuerpo definido por la malla. (Bernal A. &., 2007)

Para el estudio del flujo del sistema se empleo un software de análisis por FEM, cada uno de los diseños 3D es importado del software CAD mediante la opción Import Geometry como lo muestra la Figura 37

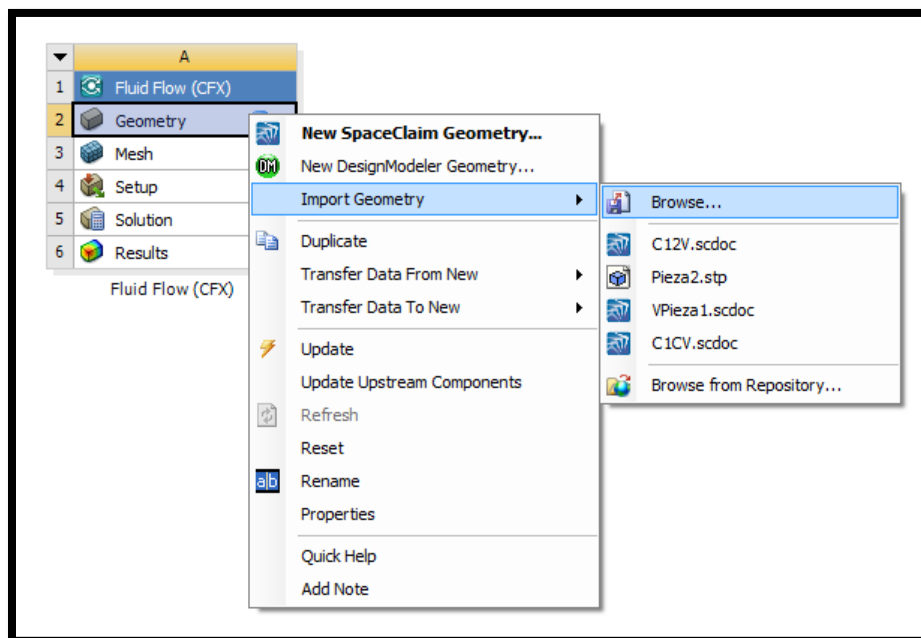


Figura 37 Importación de geometría 3D de los sistemas de escape.

(Suntaxi 2018)

3.3 Diseño de malla para el sistema de escape original y modificado

Para poder estudiar el flujo en los sistemas de escape modificado y original con ayuda del CFD es necesario mallar el recorrido, cada sistema diseñado es un dominio por lo que necesitamos dividirlos en subdominios los cuales podrán tomar diferentes formas ya sean hexaedros y tetraedros en 3d, cuadriláteros y triángulos en 2D. el software CFD nos permite un mallado semiautomático con el cual generamos de manera rápida una malla de hexaedros y tetraedros según la complejidad de la geometría de nuestros diseños.

En la Figura 38 podremos observar el mallado generado en el colector de escape el cual nos ayudara para el análisis de las diferentes variables.

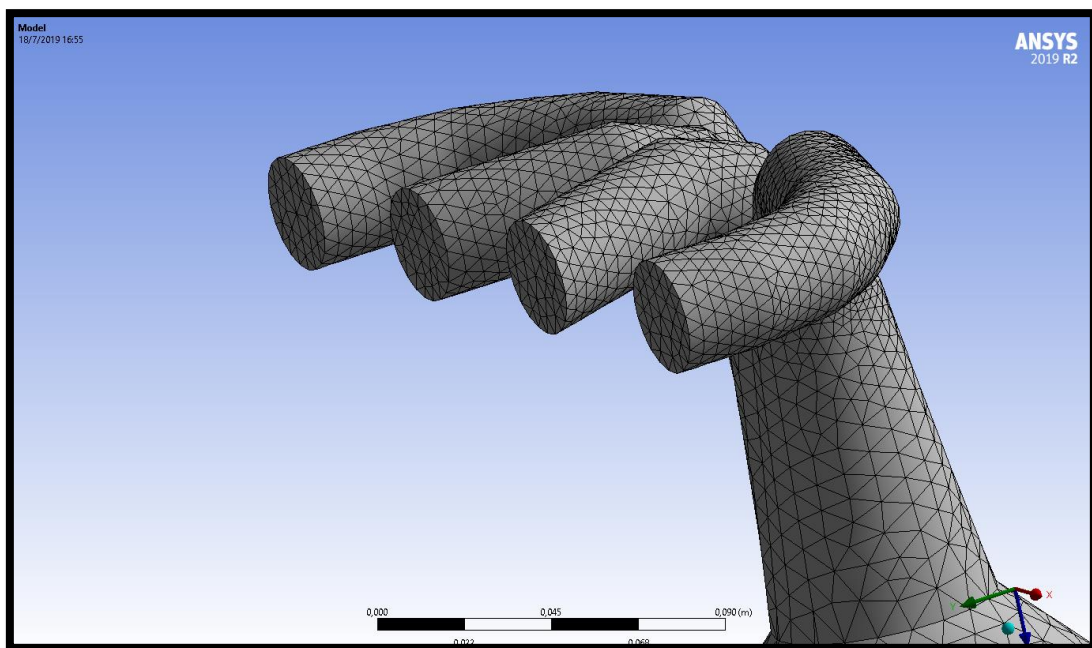


Figura 38 Mallado del colector de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 39 observaremos como se genera la malla para el estudio de las variables en el catalizador del sistema de escape.

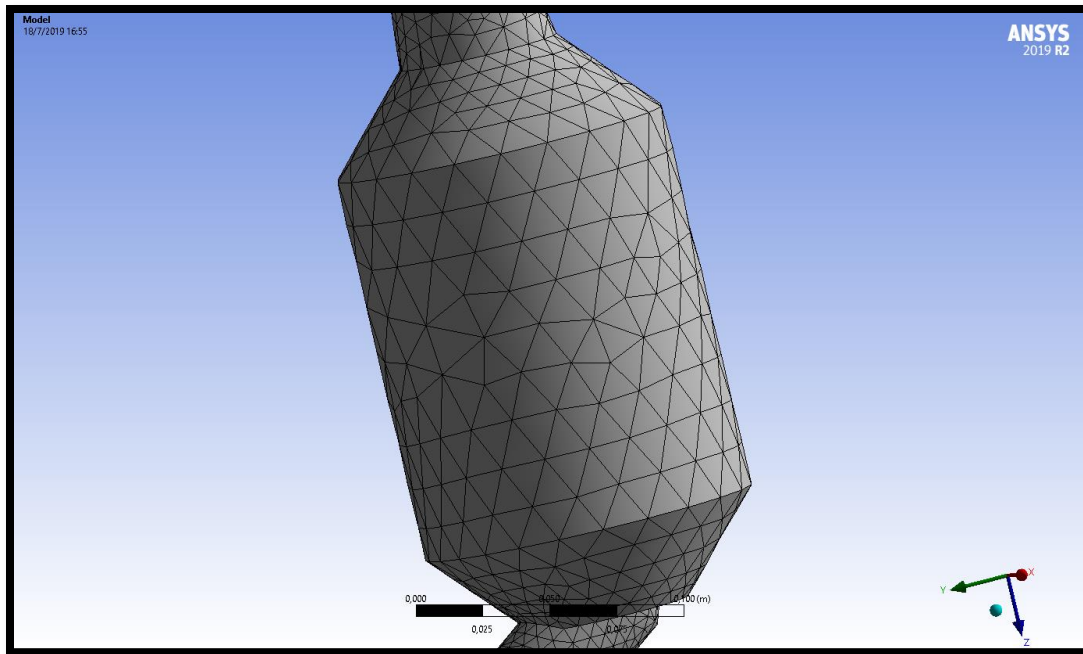


Figura 39 Mallado del catalizador.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 40 observaremos como se genera la en un tramo intermedio del sistema de escape.

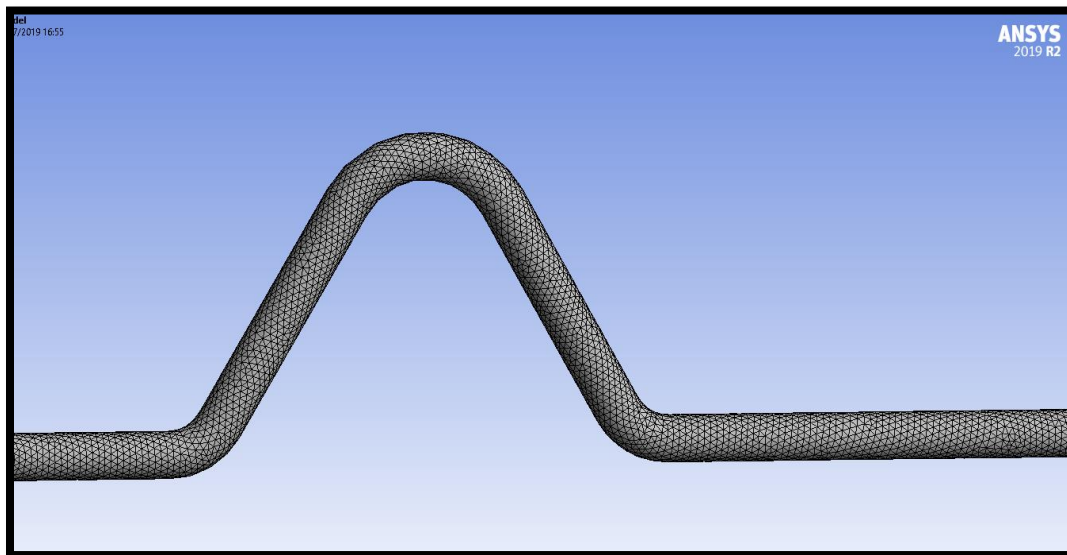


Figura 40 Mallado generado en el tramo intermedio de sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 41 podremos observar cómo se pudo generar el mallado en otro tramo del sistema el cual está unido al resonador de escape.

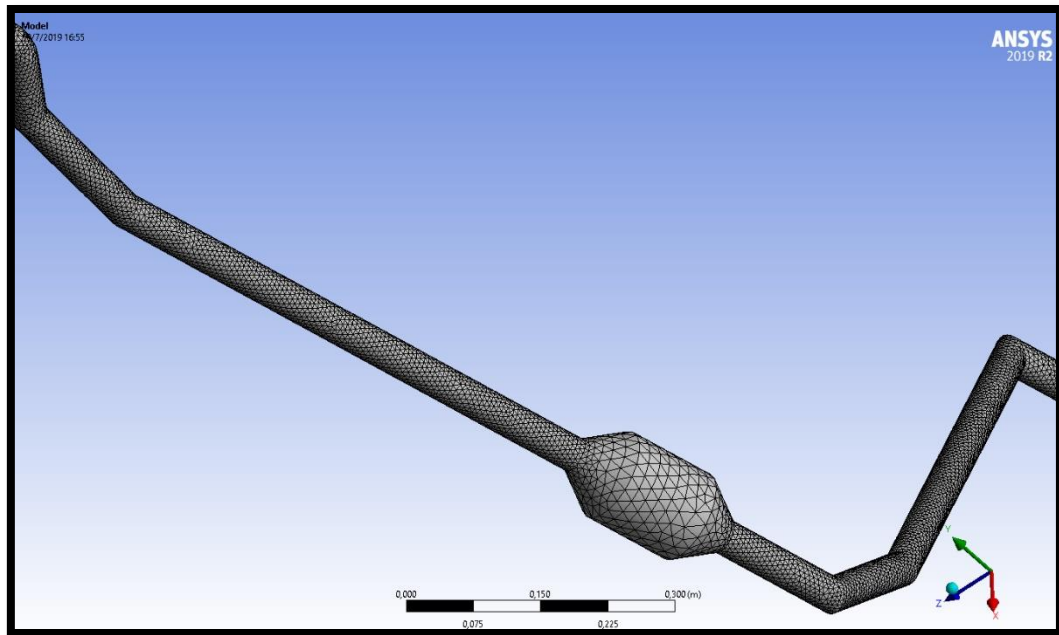


Figura 41 Mallado del tramo intermedio que está conectado con el resonador de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 42 observaremos como esta generado el mallado en el silenciador en el cual analizaremos las diferentes variables que vamos a estudiar.

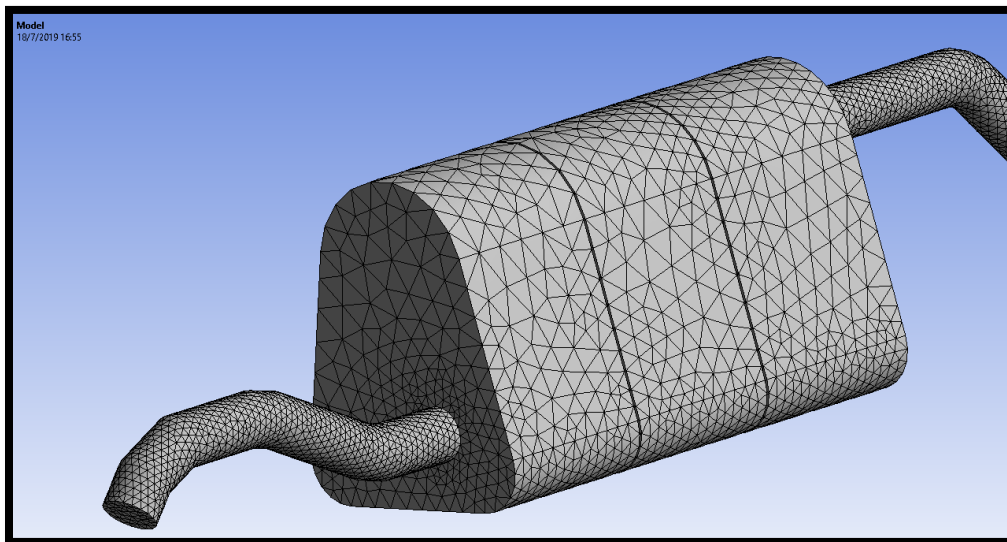


Figura 42 Mallado generado en silenciador de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 43 podremos observar el mallado que se ha generado en todo el sistema de escape mediante el uso del software CFD para poder analizar las diferentes variables que vamos a analizar.

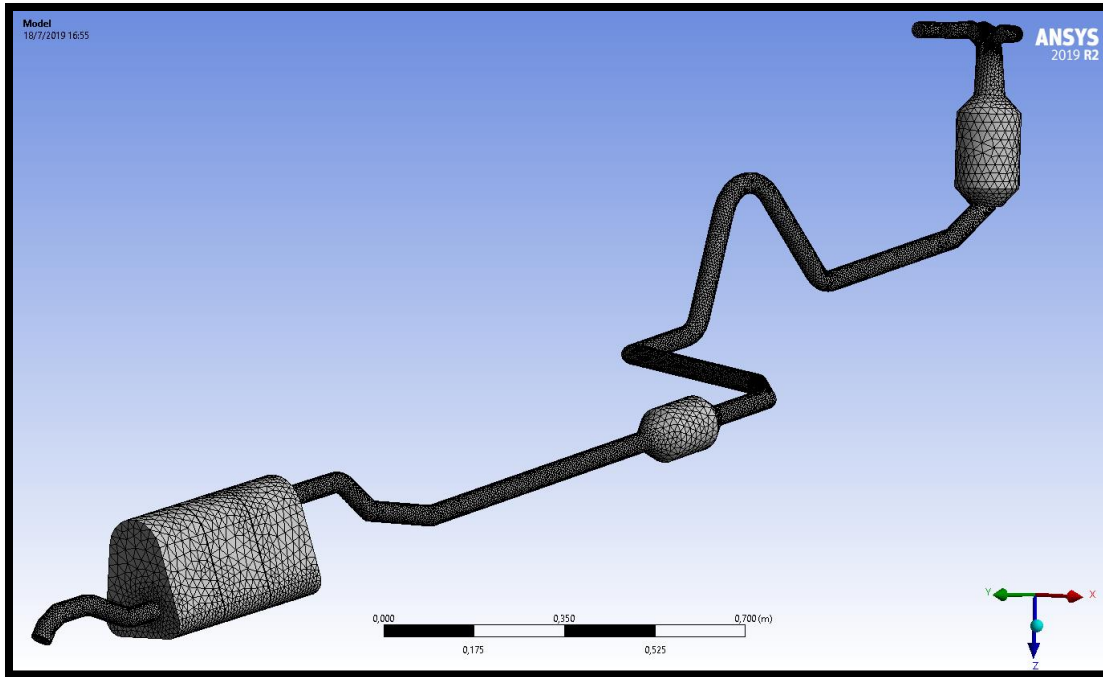


Figura 43 Generación del mallado en el sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

3.4 Verificación de la malla

Jacobian ratio es la medición de la forma de un elemento comparándolo con la de un elemento ideal. Si un elemento al ser medido se obtiene una mala calidad de jacobian ratio es posible que el elemento no se asigne bien el espacio del elemento al espacio real, haciendo así que los cálculos basados en la forma del elemento sean menos confiables. La forma ideal de un elemento depende del tipo de elemento.

Jacobian ratio tiene un método de medición de calidad del elemento basado en puntos de gauss (puntos de integración), este método es menos restrictivo. Para obtener la información métrica de la malla basada en el Jacobian ratio, esta se debe delimitar por -1(peor) y 1 (la mejor). Para esto un elemento con un Jacobian ratio ≤ 0 debe ser evitado. (ANSYS,2018)

Para el sistema de escape que ha sido diseñado se busca aproximarse al elemento ideal mediante el refinamiento de malla. Para el diseño del sistema de escape modificado el Jacobian ratio es de -0.6322.

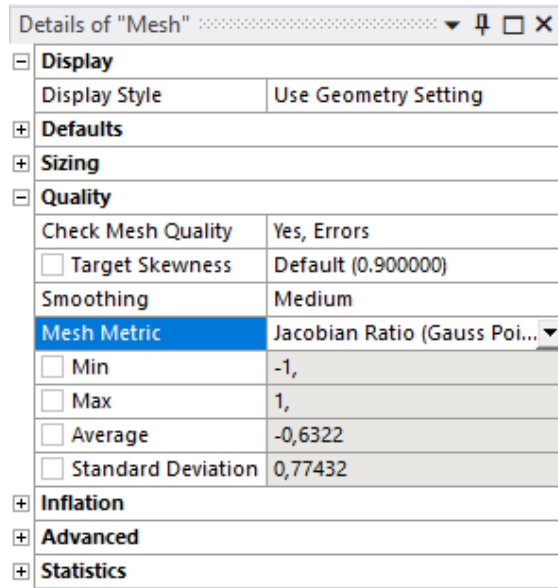


Figura 44 Jacobian ratio del sistema de escape modificado.

(Suntaxi 2018)

3.5 Simulación del sistema de escape en CFD

Para la simulación CFD del sistema de escape se toma en cuenta valores de entrada que se encuentran en la Tabla 4 como son la presión de salida de los gases, la velocidad de los gases de escape, la temperatura y la densidad de los gases.

Tabla 4 Valores de entrada con los que se trabajara en la simulación CFD

Presión de salida de gases de escape.	190 PSI
Velocidad de los gases de escape.	10 m/s
Temperatura de gases de escape.	900°C
Densidad de los gases de escape.	1.165Kg/m ³ CONDICIONES NORMALES DE TEMPERATURA

3.5.1 Simulación de la presión generada en el sistema de escape original

En la Figura 45 podemos observar la simulación de la presión en el sistema de escape original en el cual se analizará la presión que podemos hallar en diferentes tramos del sistema de escape.

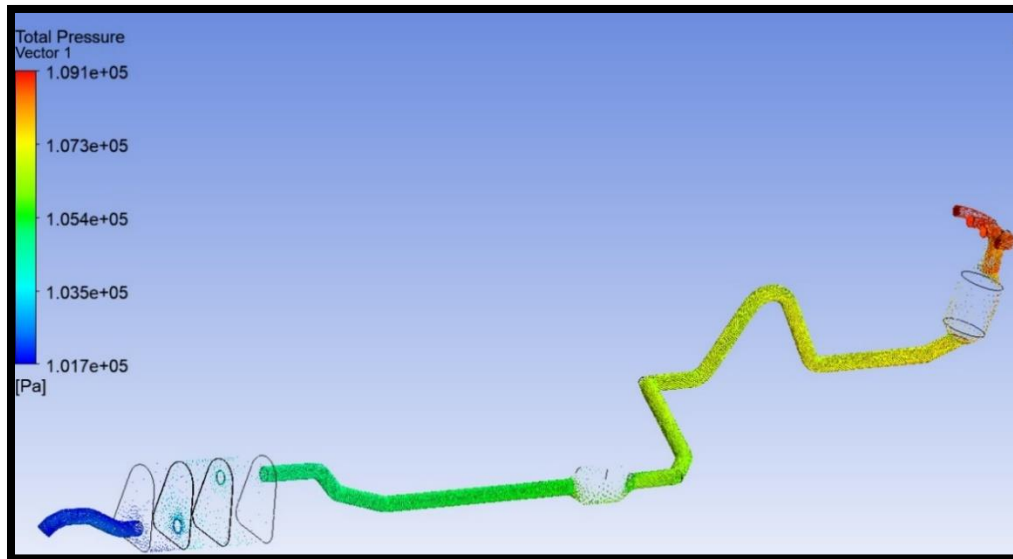


Figura 45 Simulación de la presión en el sistema de escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 46 podremos observar la presión que es genera por los gases de escape al ingresar al múltiple de escape y trasladarse hasta el catalizador.

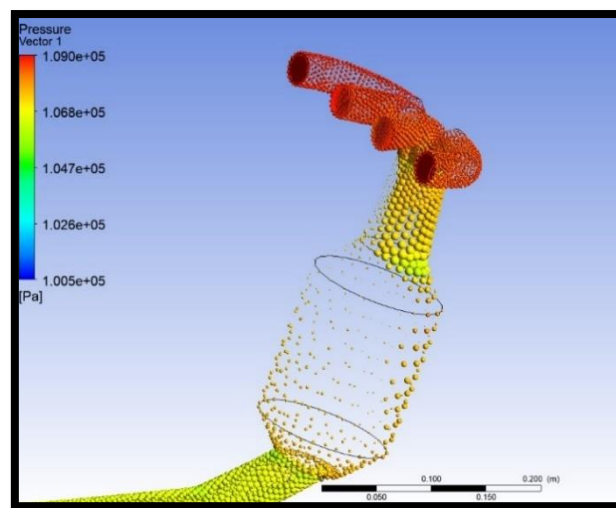


Figura 46 Presión generada en el múltiple de escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 47 podremos observar la disminución de la presión en un tramo del sistema de escape original, el cual se podrá analizar con la ayuda de las tonalidades de colores que van cambiando a través del trayecto.

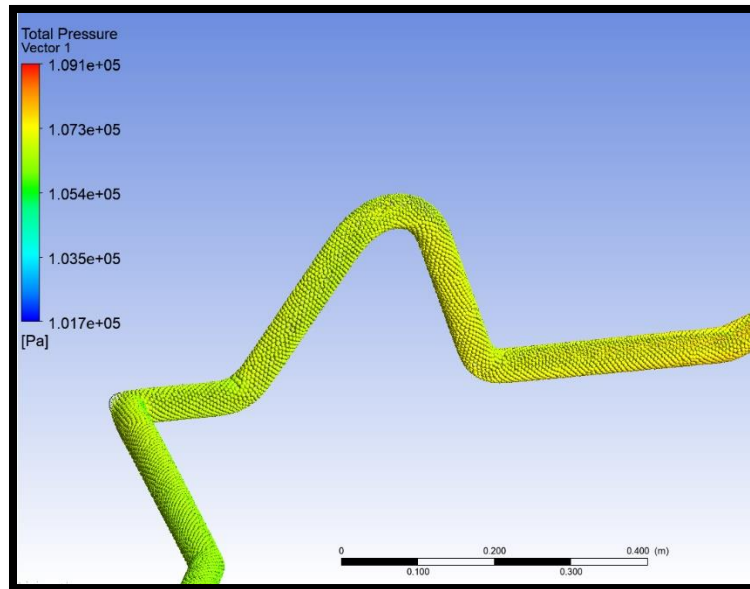


Figura 47 Presión generada en el tubo de escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 48 observaremos la presión que se ha generado en el tramo intermedio el cual está conectado con el resonar de escape y por donde fluyen los gases de escape.

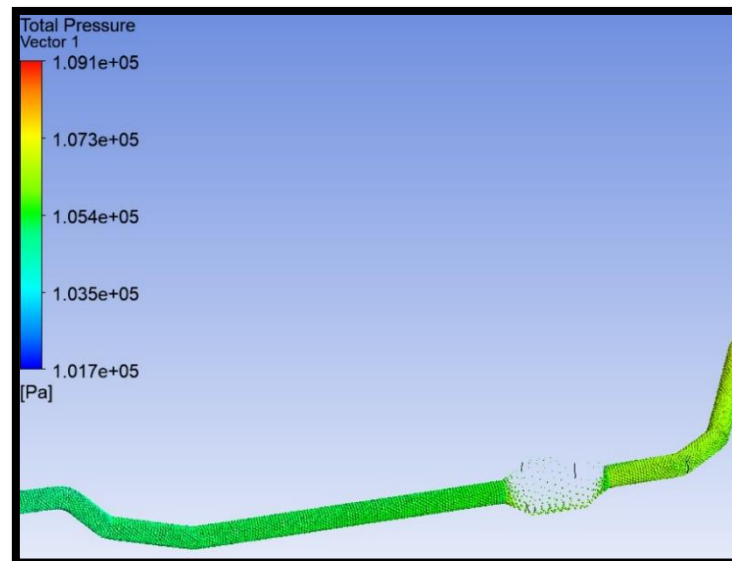


Figura 48 Presión generada en el tramo intermedio del tubo de escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 49 observaremos la presión de los gases al ingresar al silenciador de escape y la presión que se obtiene al momento de salir expulsados los gases de escape del silenciador.

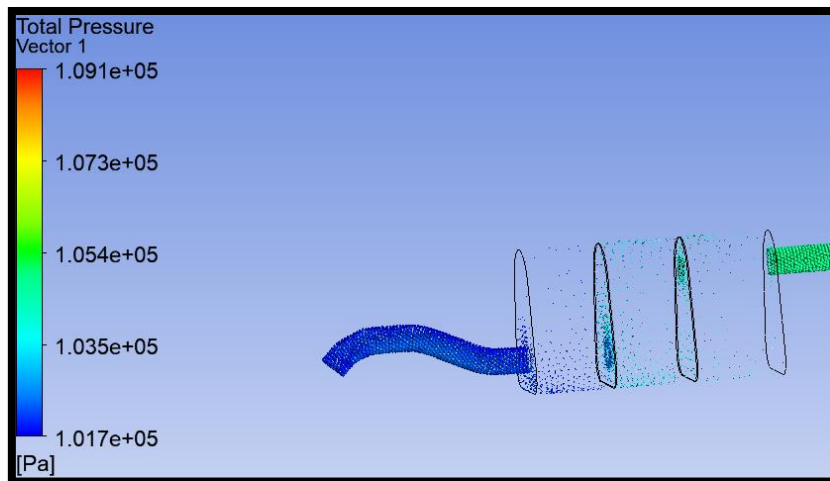


Figura 49 Presión generada en el silenciador de escape original.

(Suntaxi 2018)

3.5.2 Simulación de la velocidad generada en el sistema de escape original

En la Figura 50 podremos observar la velocidad con la que se desplazan los gases combustiónados a través del sistema de escape original, podremos observar cómo su velocidad ira cambiando a través de su desplazamiento, desde que ingresa al sistema de escape hasta el momento en el que sale por medio del silenciador de escape.

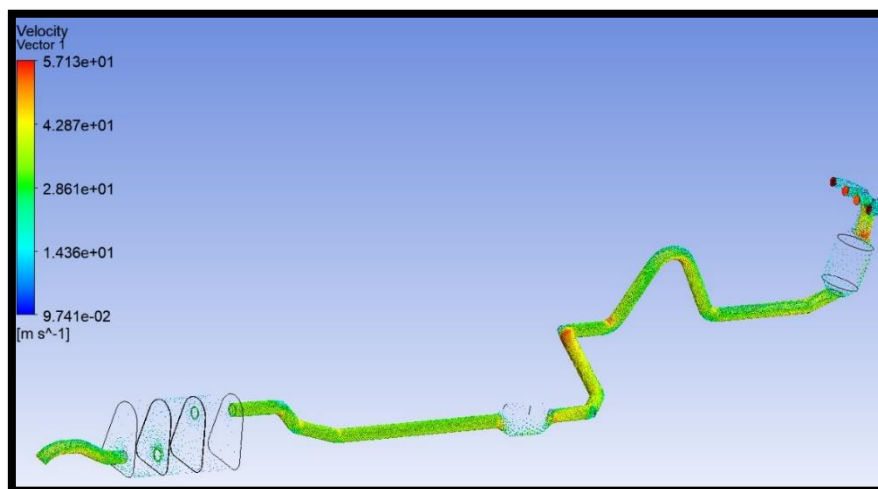


Figura 50 Simulación del recorrido de los gases de escape en el interior del sistema de escape modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 51 observaremos que los gases combustionados al ingresar al múltiple de escape tienen cierta velocidad y que al desplazarse a través de este y llegar al catalizador su velocidad aumentará levemente.

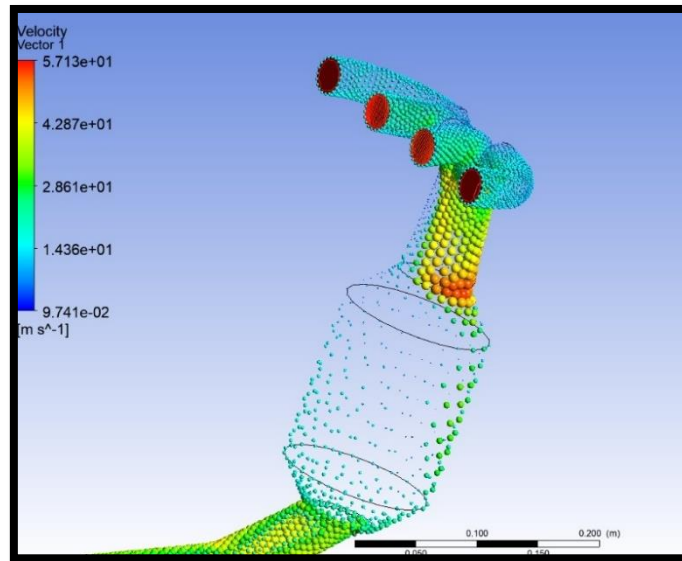


Figura 51 Recorrido de los gases de escape en el interior del múltiple y catalizador.

(Suntaxi 2018)

En la figura 52 podemos observar la velocidad de los gases que circulan a través del sistema de escape y que en ciertos puntos del sistema de escape donde podemos apreciar unas curvas pronunciadas la velocidad de los gases aumentará.

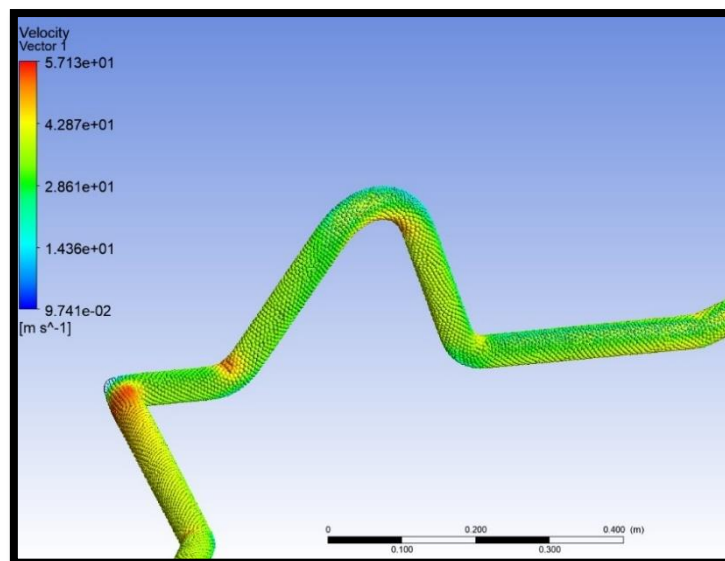


Figura 52 tramo intermedio del sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 53 podremos observar la velocidad con la que se desplazan los gases combustiónados a través del tubo de escape intermedio en el cual se encuentra el resonador de escape, en este punto los gases van a mantener una velocidad constante ya que este tramo no contiene muchas curvas en su diseño.

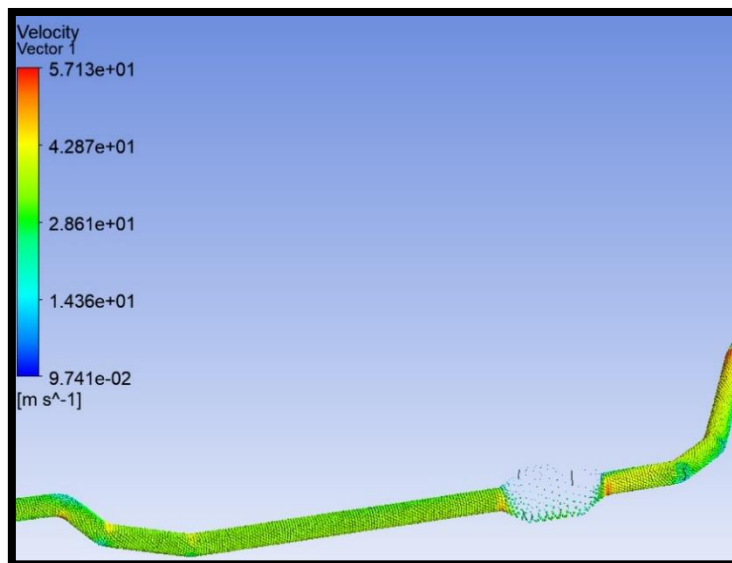


Figura 53 Tramo intermedio y resonador del sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 54 observaremos la velocidad con la que ingresan al silenciador los gases de escape y como su velocidad se mantiene a través de este y que se va a mantener hasta el momento de salir al exterior por la parte final del silenciador de escape.

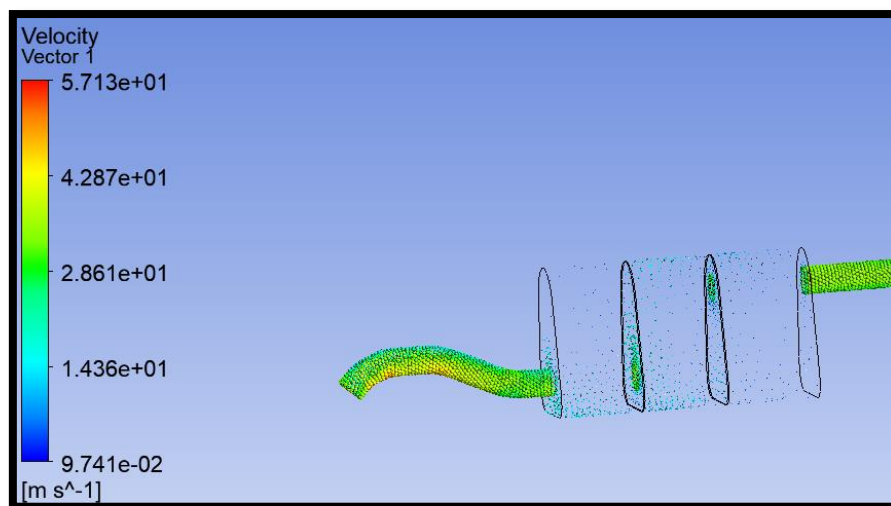


Figura 54 Recorrido del flujo de los gases de escape a través de los compartimientos del silenciador de escape.

(Suntaxi 2018)

3.5.3 Simulación de la temperatura generada en el sistema de escape original

En la Figura 55 podremos observar la temperatura que se ha generado en todo el sistema de escape al momento de que los gases combustionados ingresan y se desplazan a través de este para luego poder ser expulsados al exterior.

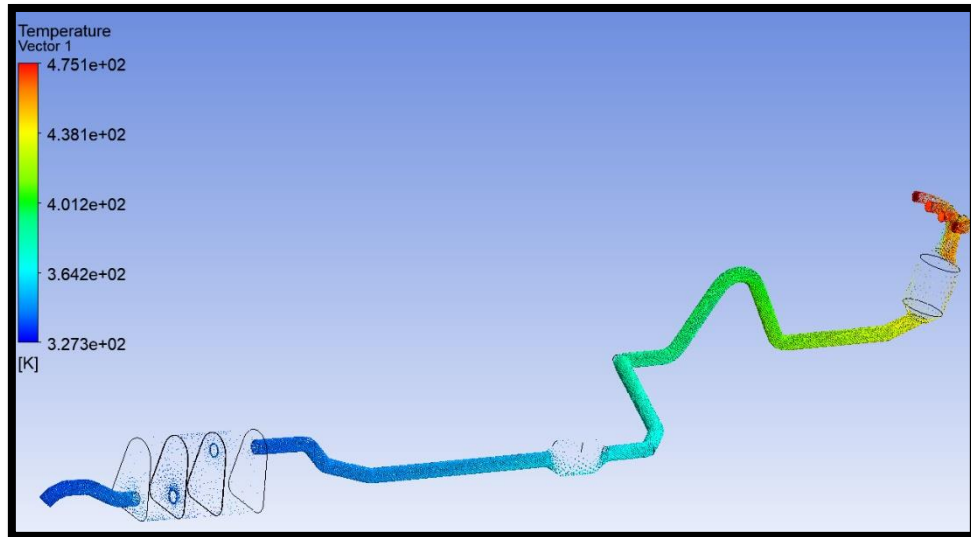


Figura 55 Plano de temperatura al ingresar los gases combustionados al sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 56 podremos observar la temperatura de los gases combustionados al momento de ingresar al múltiple de escape y como su temperatura ira variando al momento de que los gases llegan a atravesar el catalizador.

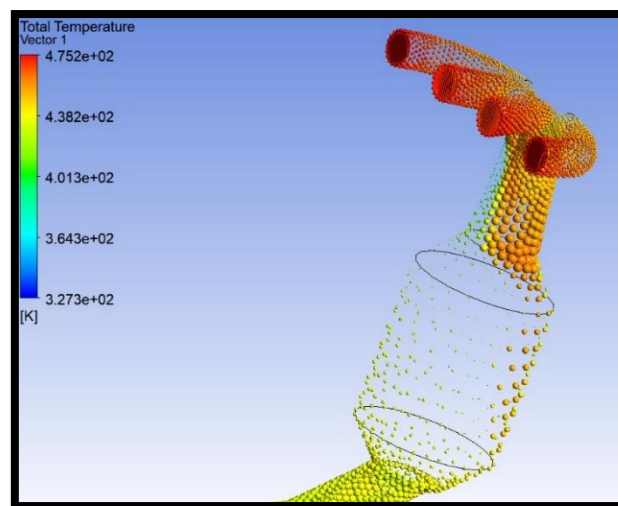


Figura 56 Temperatura de los gases de escapes al ingresar al múltiple de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 57 podremos observar la temperatura que se genera en un tramo del tubo de escape en donde podremos apreciar como la temperatura va disminuyendo al momento de que se desplazan los gases combustionados a través de este.

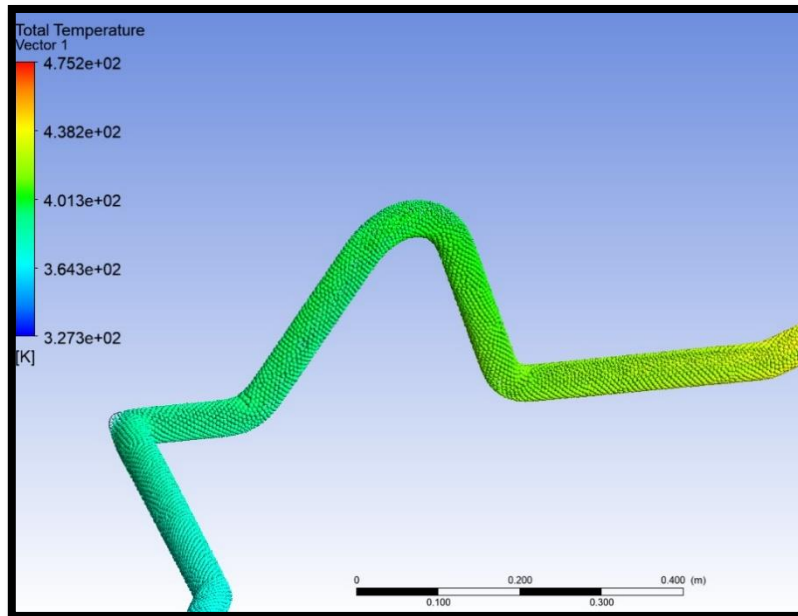


Figura 57 Temperatura de los gases de escape en el sistema de escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 58 observaremos que en el tramo intermedio en el cual se encuentra el resonador de escape la temperatura en el sistema ha disminuido de manera muy progresiva.

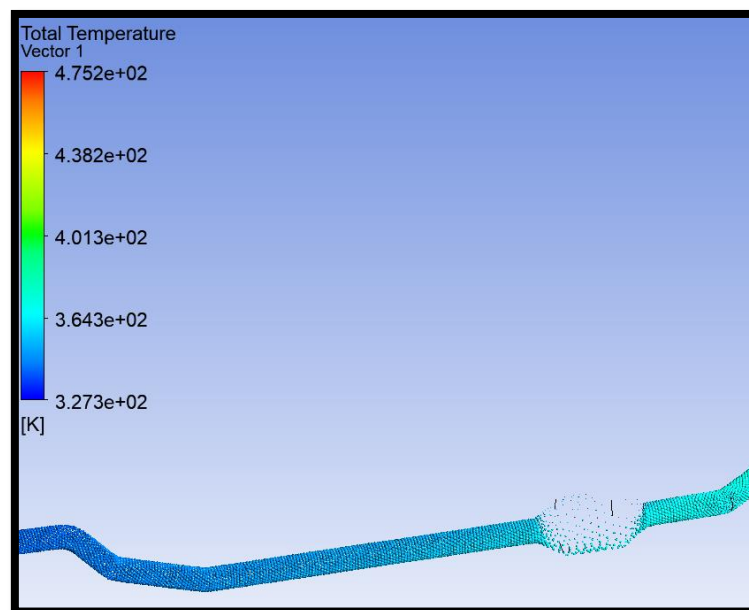


Figura 58 Temperatura de los gases de escape en el tramo intermedio del sistema de escape original.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 59 observaremos que la temperatura de los gases combustionados al ingresar al silenciador de escape ha disminuido y estos gases de escape saldrán al exterior a una temperatura menor a la cual ingresaron al sistema de escape.

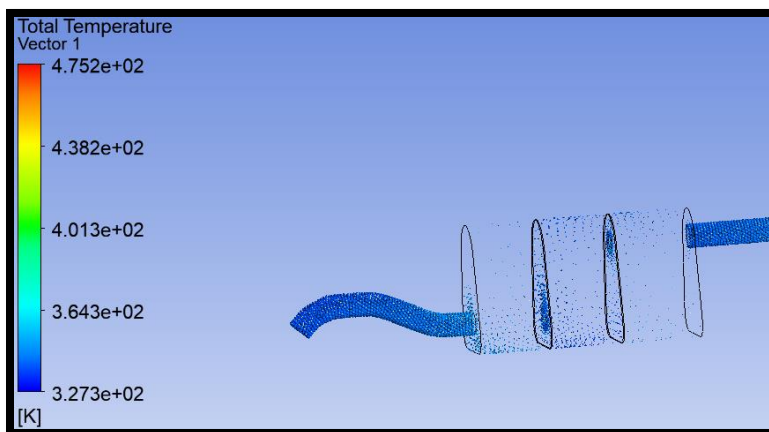


Figura 59 Temperatura de los gases combustionados en el silenciador de escape del sistema de escape original.
(Suntaxi 2018)

3.5.4 Medición de la sonorización del sistema de escape original

La medición de la sonorización en el sistema de escape original se la realizo con la ayuda de un sonómetro y esta variable se analizó con el vehículo en ralentí y con el vehículo a una revolución de 2500 rpm.

En la Figura 60 podremos observar la medición de la variable sonorización del sistema de escape original en ralentí.



Figura 60 Medición de la sonorización con el vehículo en ralentí.
(Suntaxi 2018)

En la Figura 61 podremos observar la medición de la variable sonorización del sistema de escape original a 2500 rpm.

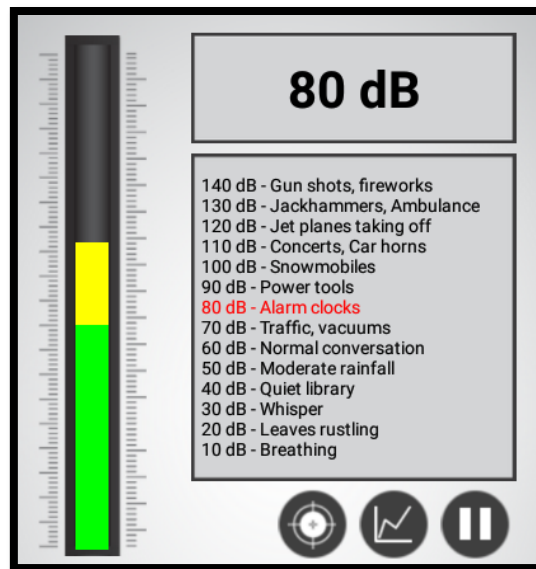


Figura 61 Medición de la sonorización con el vehículo a 2500 rpm.

(Suntaxi 2018)

3.5.5 Simulación de la presión generada en el sistema de escape modificado

En la Figura 62 podemos observar la simulación de la presión en el sistema de escape modificado, en el cual esta presión estará cambiando en el transcurso en que se desplazan los gases de escape hasta llegar al silenciador y que luego se liberara hacia el exterior la presión generada en el sistema.

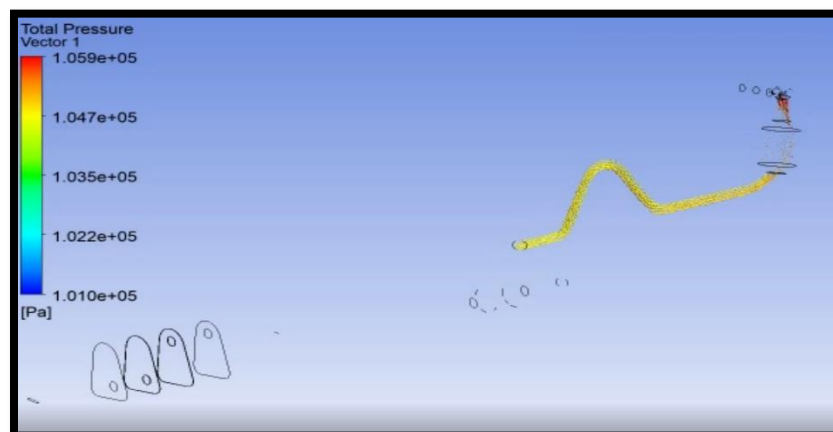


Figura 62 Simulación de la presión en el sistema de escape modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 63 podemos observar la presión que genera los gases de escape al ingresar por cada uno de los conductos del múltiple de escape. En el cual en cada uno de los conductos la presión que se ha generado es diferente.

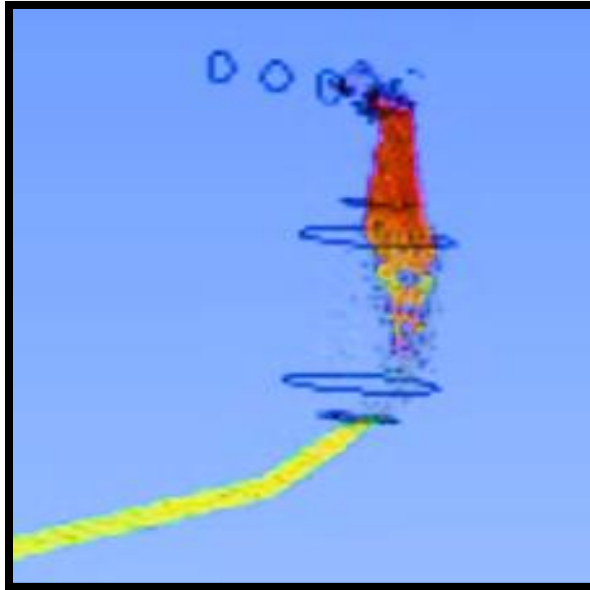


Figura 63 Presión generada en el múltiple de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 64 observamos como la presión va en aumento al pasar a través del tubo de escape. Esto lo observamos mediante la variación de colores en la cual tenemos una tabla de referencia en donde observaremos con respecto al color los valores que tiene cada sector.

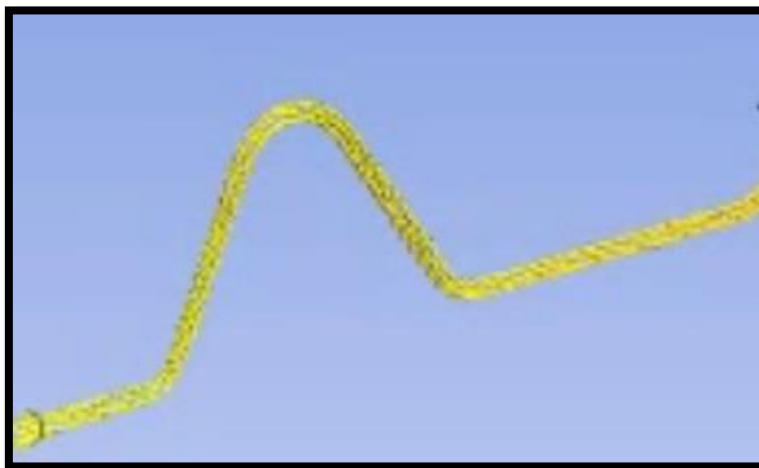


Figura 64 Presión generada en el tubo de escape

(Suntaxi 2018)

En las Figuras 65 y 66 podemos observar como la presión aumento en el tramo intermedio del sistema de escape donde atraviesa el resonador y se mantiene constante hasta llegar al silenciador de escape por donde salen los gases de escape hacia el exterior.

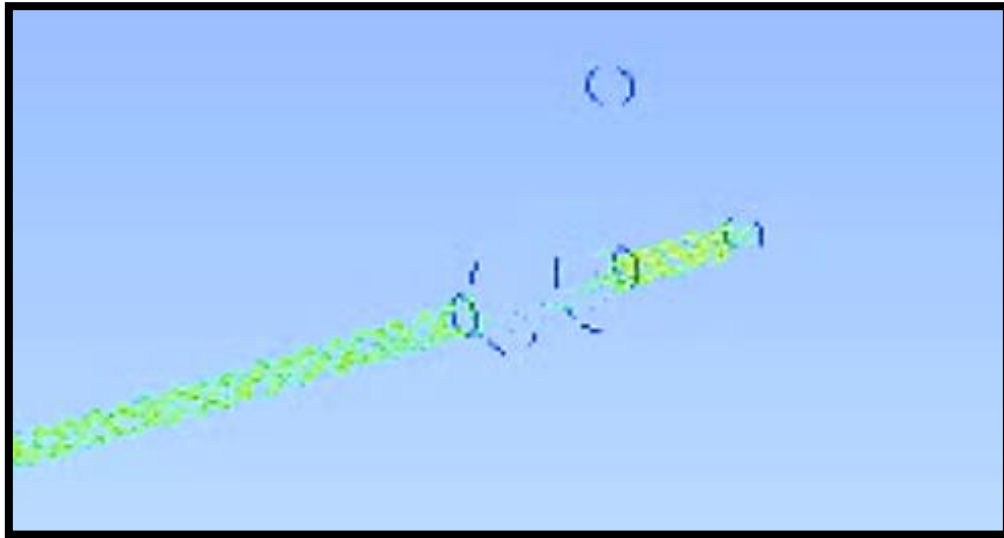


Figura 65 Presión generada en el tramo intermedio del tubo de escape.

(Suntaxi 2018)

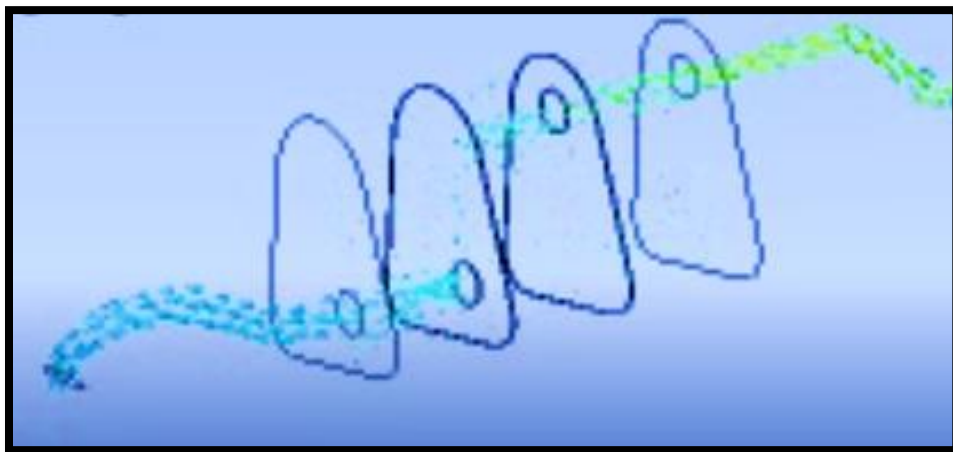


Figura 66 Presión generada en el silenciador de escape.

(Suntaxi 2018)

3.5.6 Simulación de la velocidad de los gases de escape combustionados en el sistema de escape modificado

En la Figura 67 podremos observar la simulación de los gases de escape que recorren el interior del sistema de escape modificado hasta poder salir al exterior. En este sistema podremos analizar la velocidad en diferentes tramos del sistema.

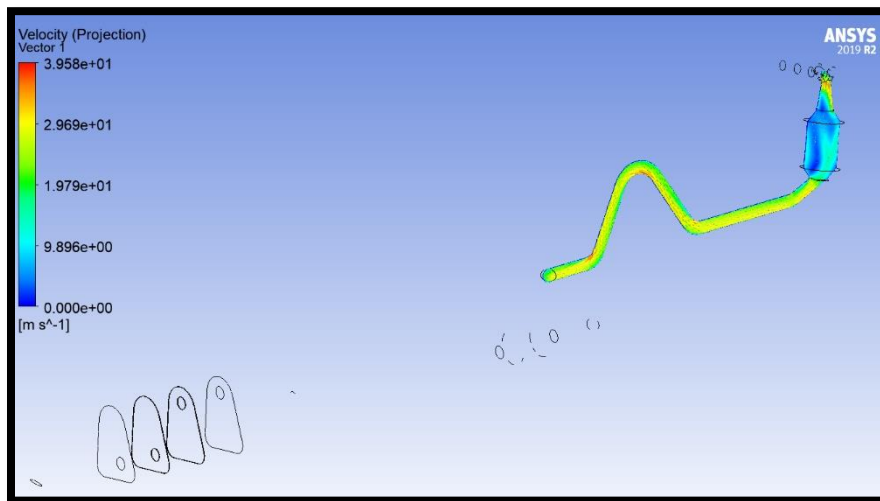


Figura 67 Simulación del recorrido de los gases de escape en el interior del sistema de escape modificado.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 68 podemos observar el recorrido de los gases de escape al ingresar por el múltiple y la velocidad con la que ingresan a este, por medio de los colores podemos conocer cuál será la velocidad del fluido en cada punto del recorrido.

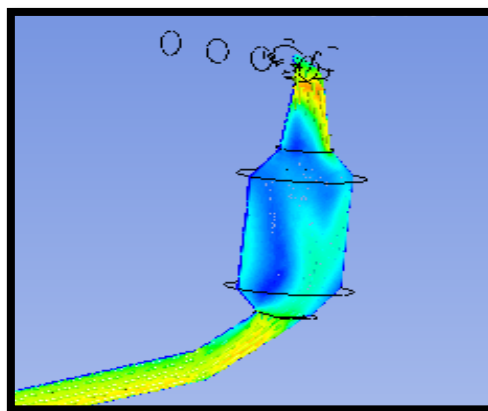


Figura 68 Recorrido de los gases de escape en el interior del múltiple y catalizador.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 69 y 70 observaremos como los gases de escape recorren los tramos del sistema de escape y cuál es la velocidad que tienen al pasar por las diferentes curvas del sistema.

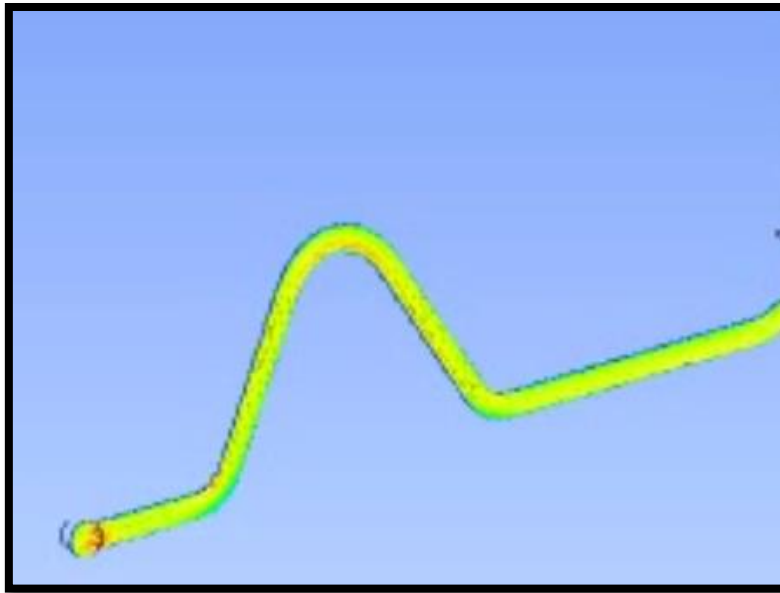


Figura 69 Tramo intermedio del sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

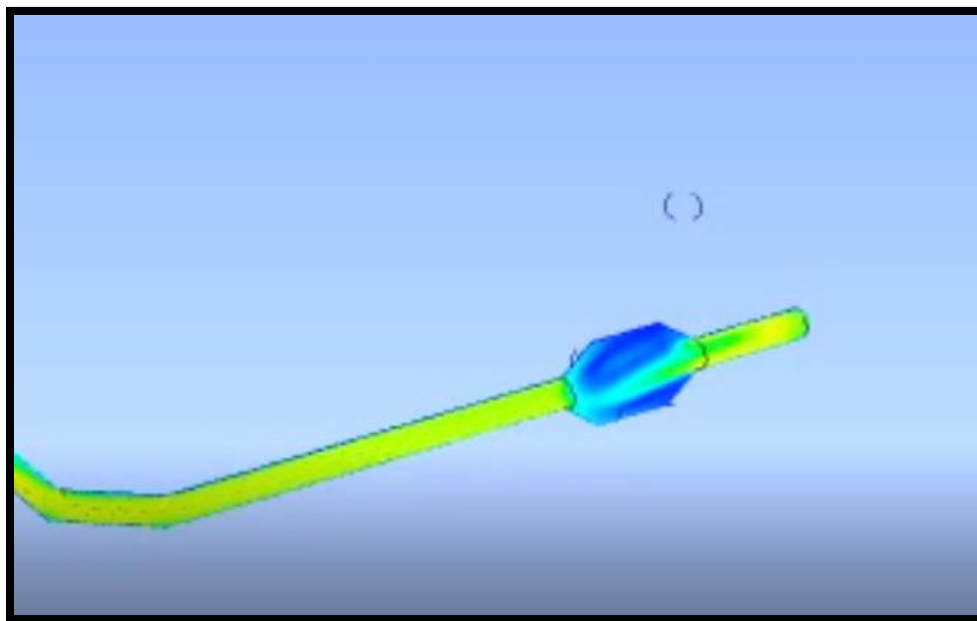


Figura 70 Tramo intermedio y resonador del sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 71 observamos como los gases de escape fluyen a través de los diferentes compartimientos del silenciador de escape para poder salir al exterior.

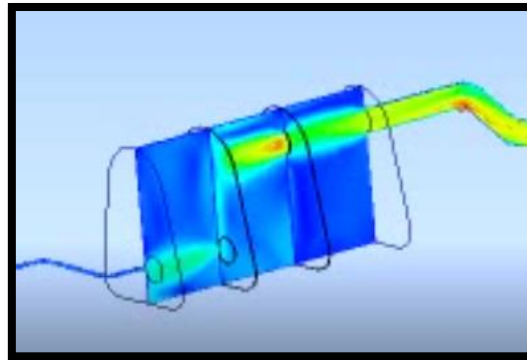


Figura 71 Recorrido del flujo de los gases de escape a través de los compartimientos del silenciador de escape.

(Suntaxi 2018)

3.5.7 Simulación de la turbulencia generada por el flujo de los gases de escape a través del sistema de escape modificado

En la Figura 72 podremos observar el sistema de escape completo y la turbulencia de los gases de escape que se genera al atravesar los diferentes tramos del sistema de escape modificado, y como su temperatura va disminuyendo desde que ingresa hasta el momento en que sale por el tramo final del silenciador de escape.

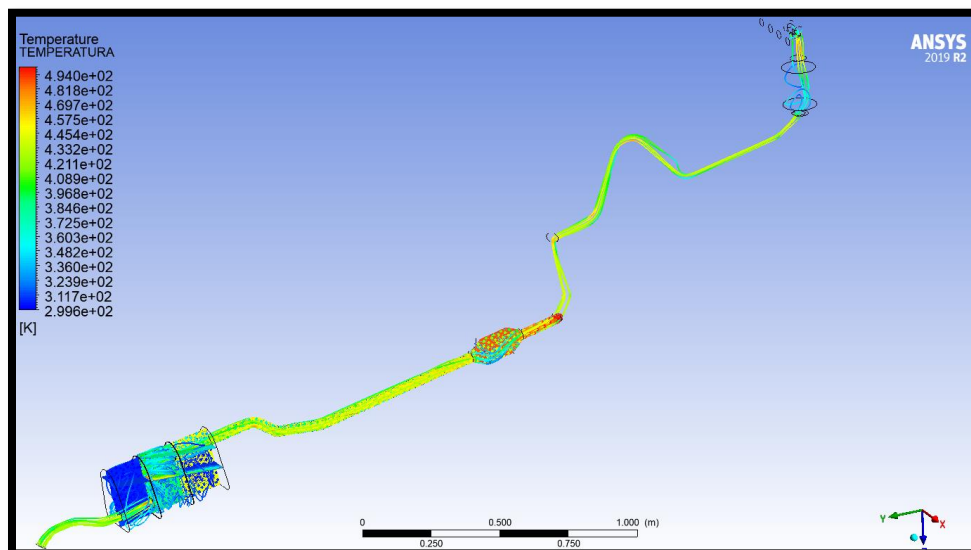


Figura 72 Turbulencia de los de gases de escape que fluyen a través del sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 73 podemos observar la turbulencia de los gases de escape que ingresan y fluyen a través de un colector del múltiple de escape, del catalizador y hacia una parte del tubo intermedio del sistema de gases de escape y como va tomando diferentes valores al pasar por diferentes tramos del sistema.

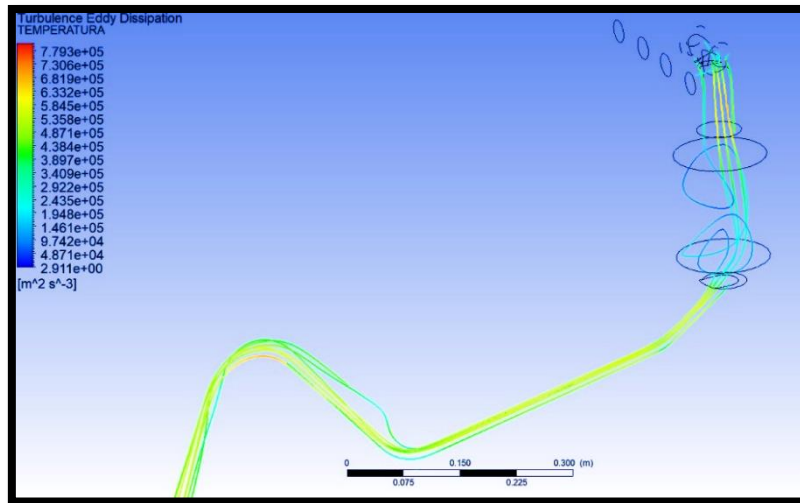


Figura 73 Turbulencia de los gases de escape que fluyen por el múltiple de escape.

(Suntaxi 2018)

En la figura 74 podremos observar la turbulencia de los gases de escape que pasan a través del tramo intermedio y del resonador donde podremos observar que sus valores aumentan al pasar por diferentes tramos del sistema de escape en especial los sectores donde están las curvas más pronunciadas.

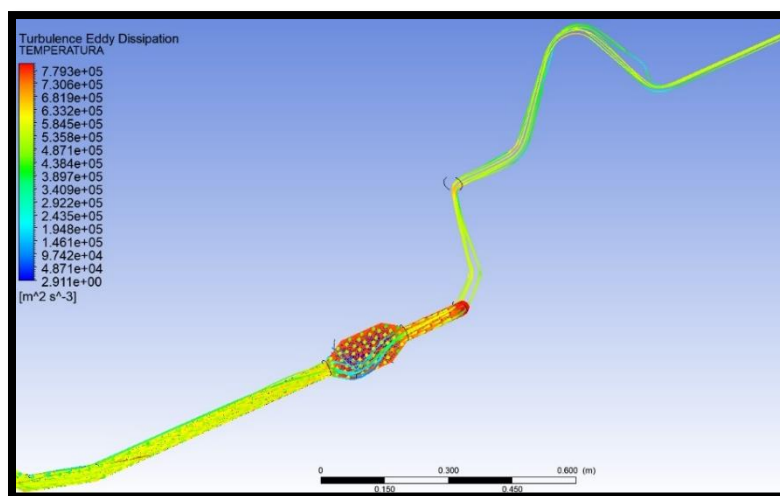


Figura 74 Turbulencia de los gases de escape generada que fluye a través del resonador de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 75 observaremos la turbulencia que se genera al ingresar al silenciador de escape y como los valores cambian al ingresar a este y salir al exterior.

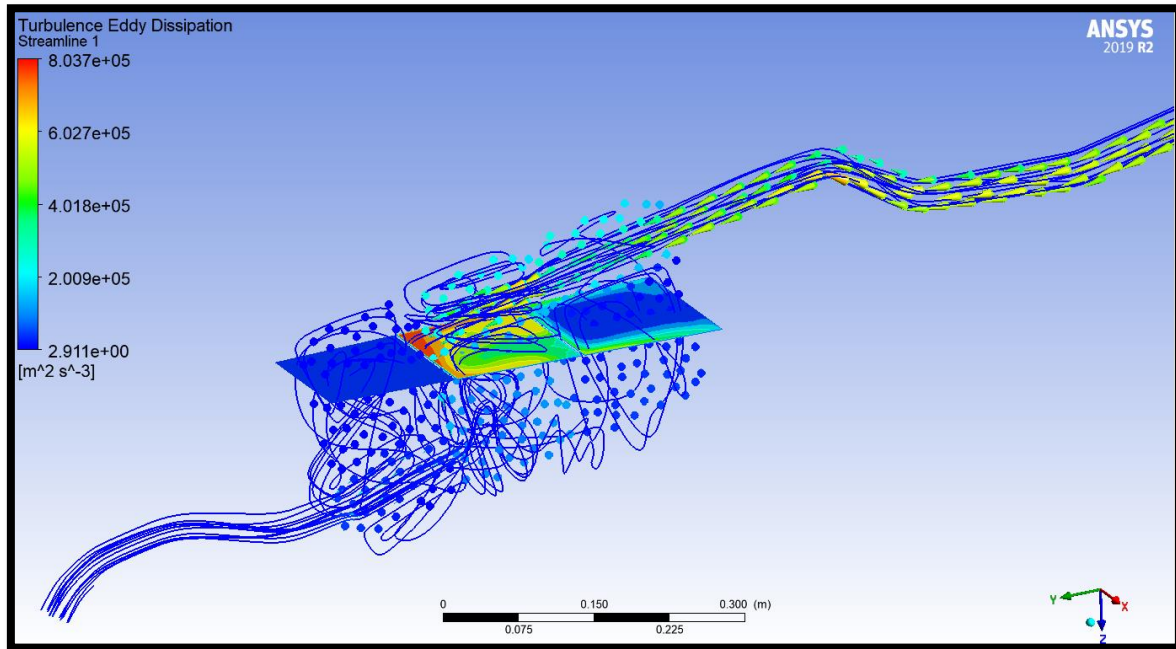


Figura 75 Turbulencia de los gases de escape al ingresar al silenciador de escape.

(Suntaxi 2018)

3.5.8 Simulación de la temperatura generada por el flujo de los gases de escape a través del sistema de escape modificado

En la Figura 76 podremos observa mediante un plano la temperatura que generan los gases de escape al ingresar al sistema de escape y como cada sector tiene diferentes tonalidades en donde podemos observar que la temperatura va ir disminuyendo hasta llegar al silenciador y posteriormente expulsar los gases de escape al exterior.

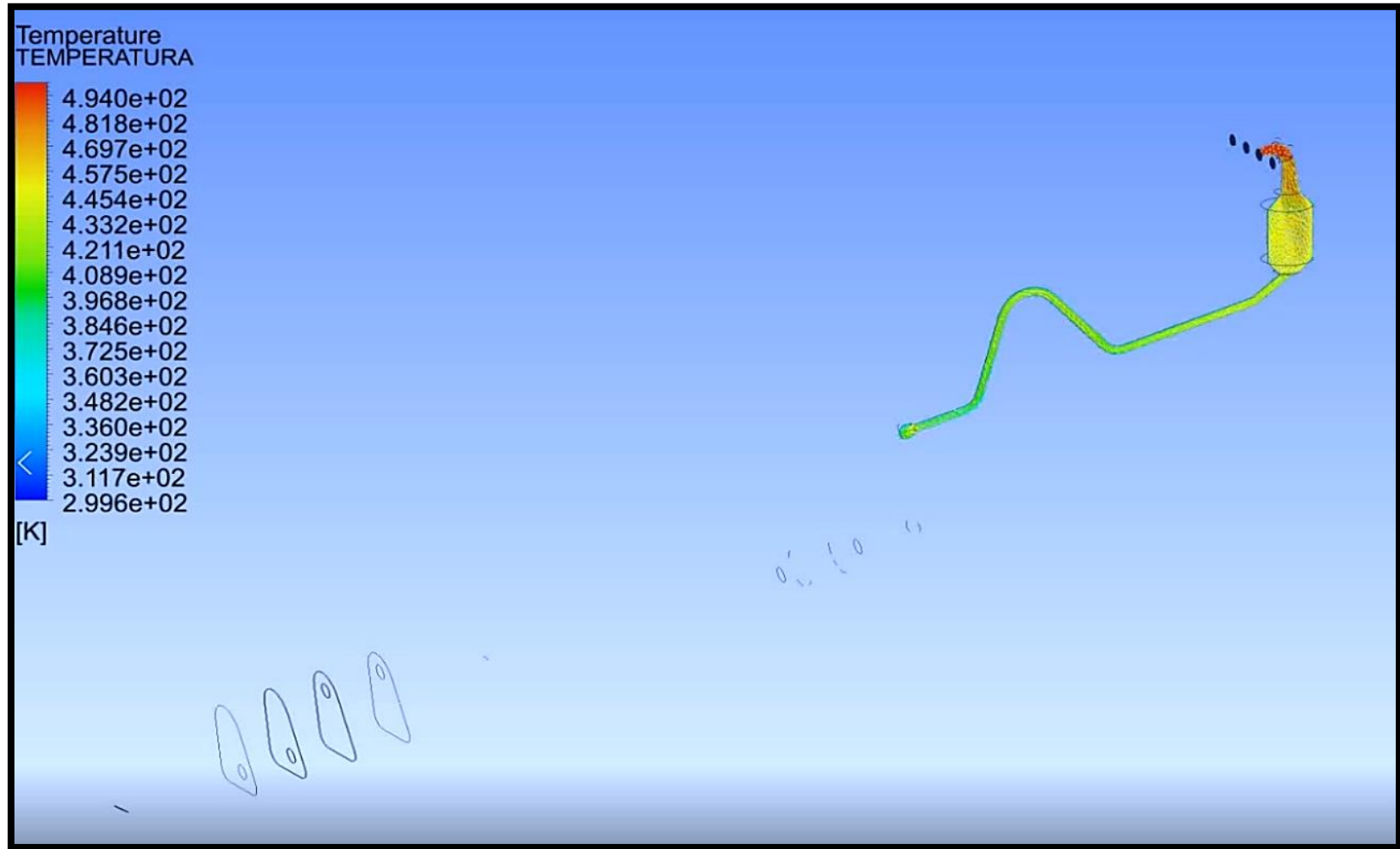


Figura 76 Plano de temperatura al ingresar los gases combustionados al sistema de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 77 podremos observa en un plano la temperatura de los gases de escape al trasladarse a través del sistema de escape y podemos observar cómo su temperatura disminuye al atravesar dicho sistema de escape.

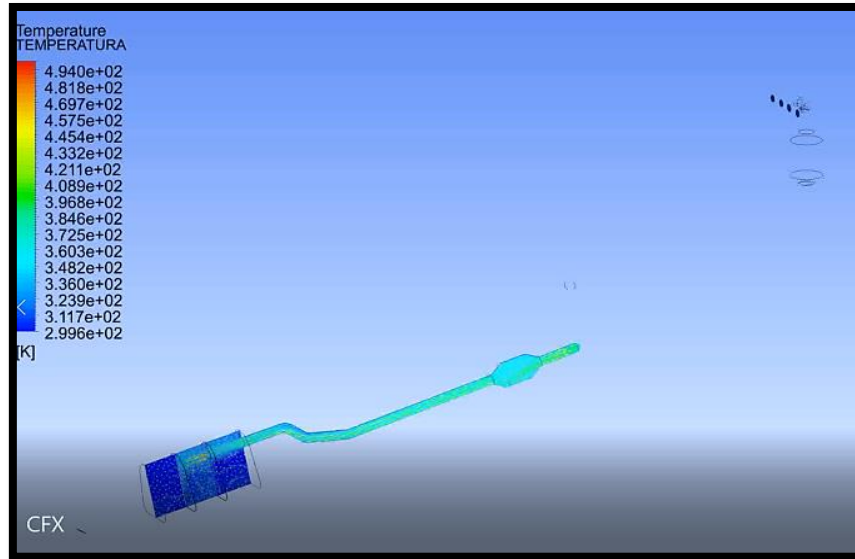


Figura 77 Temperatura de los gases al pasar por el tramo intermedio del tubo de escape.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 78 observaremos en un plano la temperatura de los gases de escape al ingresar al silenciador de escape y al salir hacia el exterior.

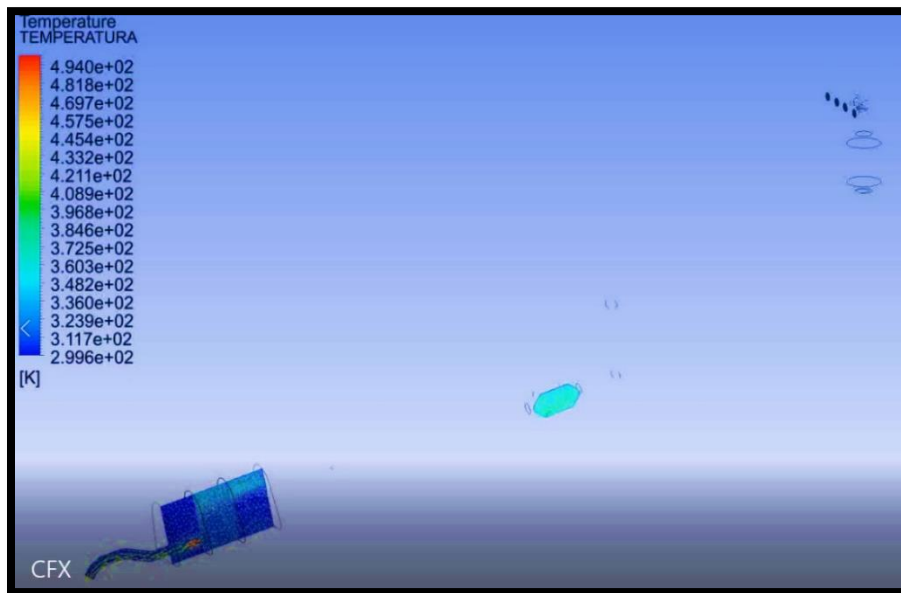


Figura 78 Temperatura de los gases de escape

(Suntaxi 2018)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Valores máximos y mínimos obtenidos en las simulaciones de los sistemas de escape

4.1.1 Valores máximos de simulación de cada sistema de escape

En la tabla 5 podemos observar los valores máximos de las variables a analizar que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape original y modificado.

Tabla 5 Valores máximos obtenidos de las simulaciones de los sistemas de escape.

Sistema de escape	Temperatura (°K)	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
Original.	475	4.28	1.09
Modificado	469	9.89	1.04

4.1.2 Valores mínimos de simulación de cada sistema de escape

En la tabla 6 podemos observar los valores mínimos de las variables a analizar que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape original y modificado.

Tabla 6 Valores mínimos obtenidos de las simulaciones de los sistemas de escape.

Sistema de escape	Temperatura (°K)	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
Original.	327	2.86	1.017
Modificado	299	3.85	1.015

4.2 Gráficos comparativos de los valores máximos y mínimos obtenidos

Por medio de los datos que se obtuvieron mediante las simulaciones del sistema de escape original y del sistema de escape modificado, se procederá a realizar un cuadro de gráficos

de los valores máximos y mínimos obtenidos por cada variable y de los cuales se procederá a analizar y comparar el desempeño de cada uno de los sistemas de escape con respecto a cada variable que ha sido simulada para la investigación.

4.2.1 Gráficos de los valores máximos obtenidos de la simulación

En las siguientes graficas procederemos a analizar y comparar los valores máximos obtenidos mediante las simulaciones de los sistemas de escape original y modificado.

En la Figura 79 Se puede observar en una gráfica de barras los valores máximos obtenidos mediante la simulación de la temperatura de los gases combustionados al momento de desplazarse en los sistemas de escapes original y modificado.

Los valores de las temperaturas que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape fueron, para el sistema de escape original una temperatura de 475°K y para el sistema de escape modificado una temperatura de 469°K .

La temperatura de 469°K que se obtuvo mediante la simulación del diseño del sistema de escape modificado es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

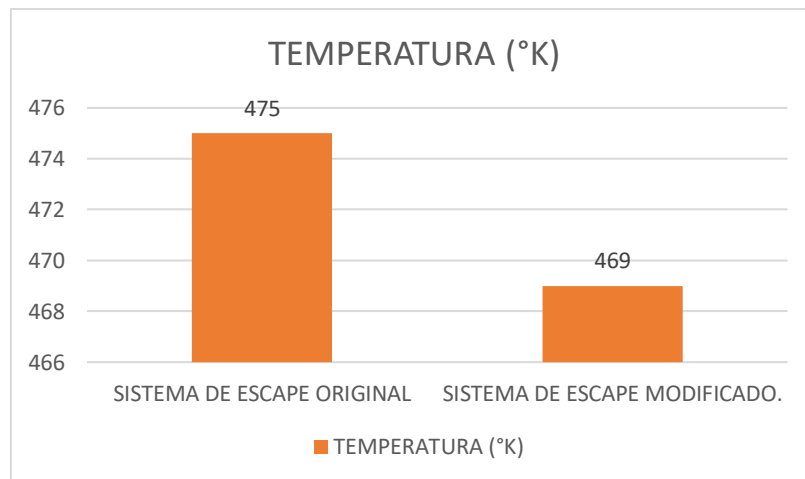


Figura 79 Gráfico de comparación de la temperatura de los valores máximos obtenidos en la simulación.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 80 Se puede observar en una gráfica de barras los valores máximos obtenidos mediante la simulación de la velocidad de los gases al momento de desplazarse en los sistemas de escapes original y modificado.

Los valores de las velocidades que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape fueron, para el sistema de escape original una velocidad de 4.28m/s. y para el sistema de escape modificado una velocidad de 9.89m/s.

La velocidad de 9.89m/s. que se obtuvo mediante la simulación del diseño del sistema de escape modificado es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

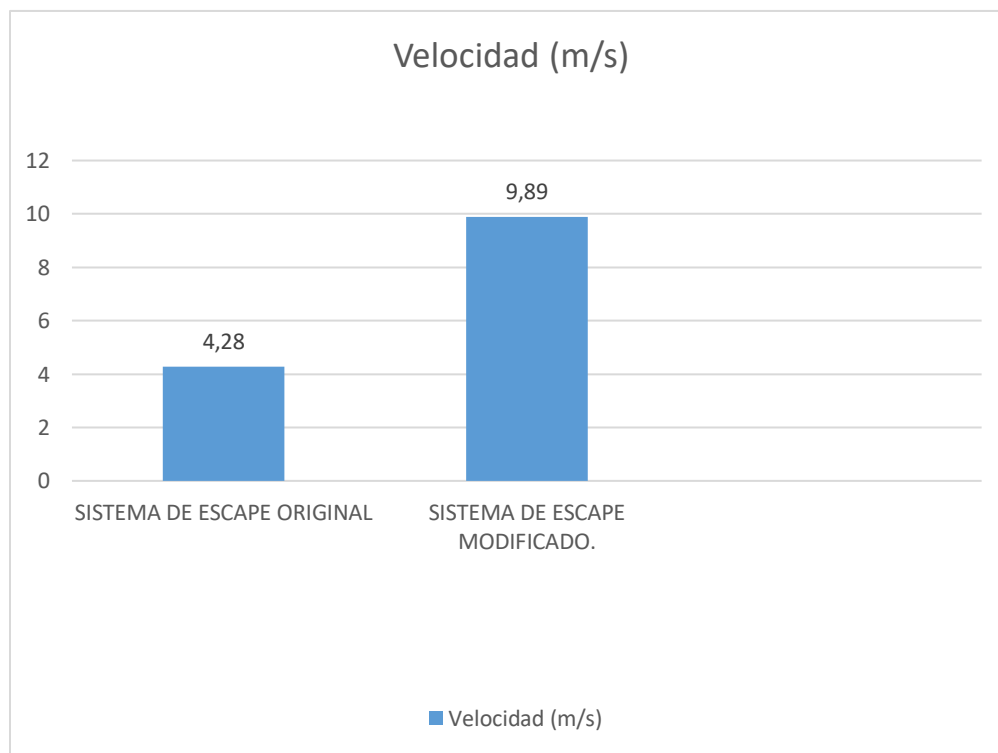


Figura 80 Gráfico de comparación de la velocidad de los valores máximos obtenidos en la simulación.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 81 Se puede observar en una gráfica de barras los valores máximos obtenidos mediante la simulación de la presión de los gases al momento de desplazarse en los sistemas de escapes original y modificado.

Los valores de las presiones que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape fueron, para el sistema de escape original una presión de 1.09 Pa. y para el sistema de escape modificado una presión de 1.04 Pa.

La presión de 1.04 Pa. que se obtuvo mediante la simulación del diseño del sistema de escape modificado es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

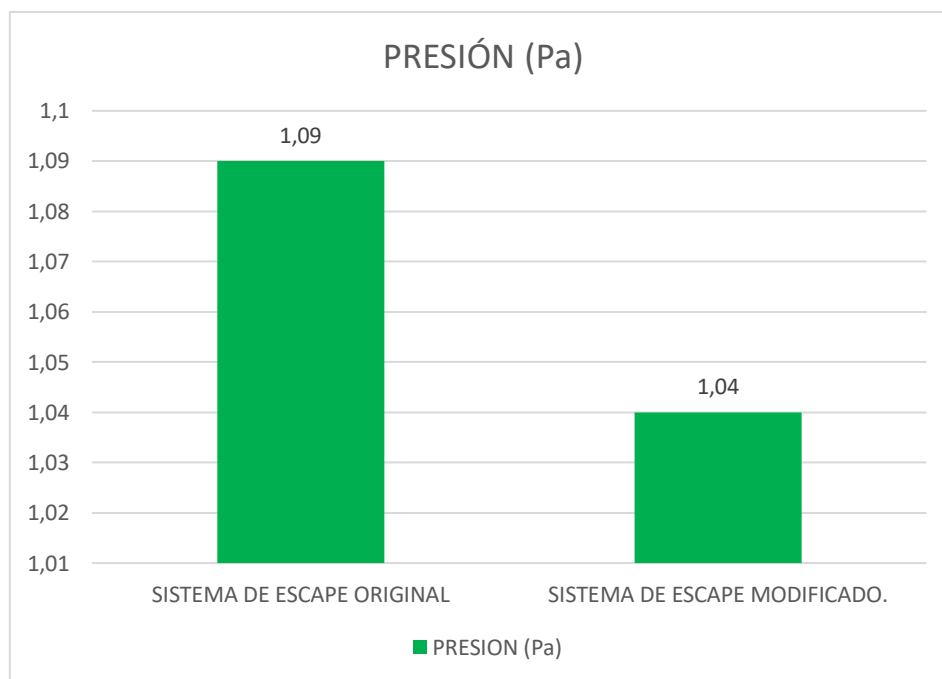


Figura 81 Gráfico de comparación de la presión de los valores máximos obtenidos en la simulación.

(Suntaxi 2018)

4.2.2 Gráficos comparativos de los valores mínimos obtenidos

En las siguientes graficas procederemos a analizar y comparar los valores mínimos obtenidos mediante las simulaciones de los sistemas de escape original y modificado.

En la Figura 82 Se puede observar en una gráfica de barras los valores mínimos obtenidos mediante la simulación de la temperatura de los gases al momento de desplazarse en los sistemas de escapes original y modificado.

Los valores de las temperaturas que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape fueron, para el sistema de escape original una temperatura de 327°K y para el sistema de escape modificado una temperatura de 299°K .

La temperatura de 299°K que se obtuvo mediante la simulación del diseño del sistema de escape modificado es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

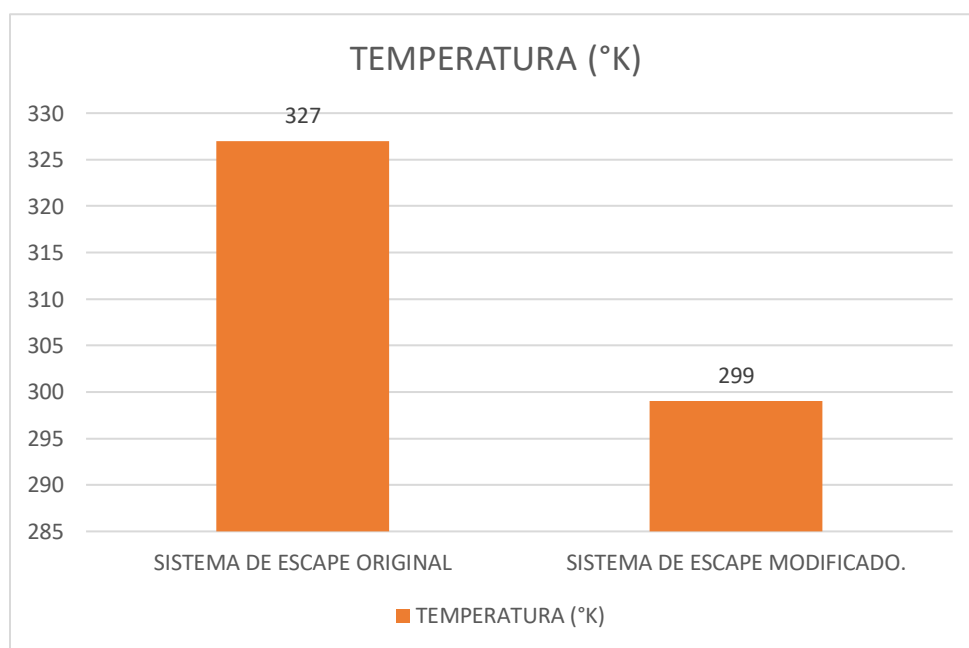


Figura 82 Gráfico de comparación de la temperatura de los valores mínimos obtenidos en la simulación.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 83 Se puede observar en una gráfica de barras los valores mínimos obtenidos mediante la simulación de la velocidad de los gases al momento de desplazarse en los sistemas de escapes original y modificado.

Los valores de las velocidades que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape fueron, para el sistema de escape original una velocidad de 2.86m/s. y para el sistema de escape modificado una velocidad de 3.85m/s.

La velocidad de 3.85m/s. que se obtuvo mediante la simulación del diseño del sistema de escape modificado es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

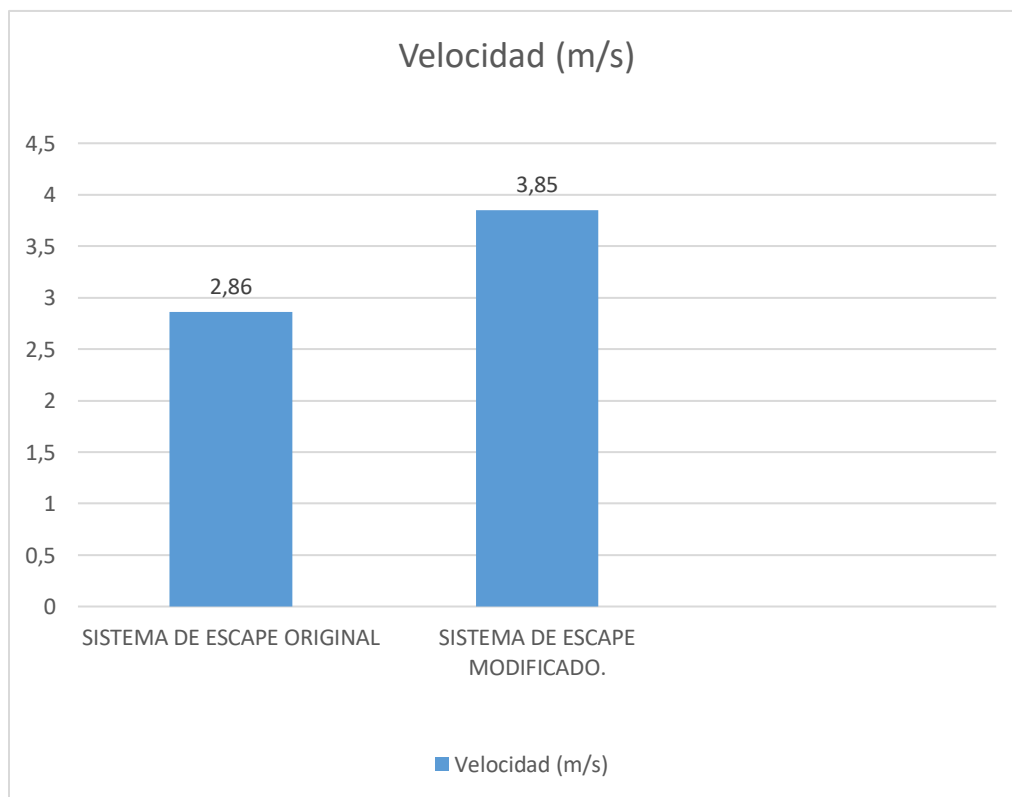


Figura 83 Gráfico de comparación de la velocidad de los valores mínimos obtenidos en la simulación.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 84 Se puede observar en una gráfica de barras los valores mínimos obtenidos mediante la simulación de la presión de los gases al momento de desplazarse en los sistemas de escapes original y modificado.

Los valores de las presiones que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape fueron, para el sistema de escape original una presión de 1.017 Pa. y para el sistema de escape modificado una presión de 1.015 Pa.

La presión de 1.015 Pa. que se obtuvo mediante la simulación del diseño del sistema de escape modificado es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrá ser contenido por los diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

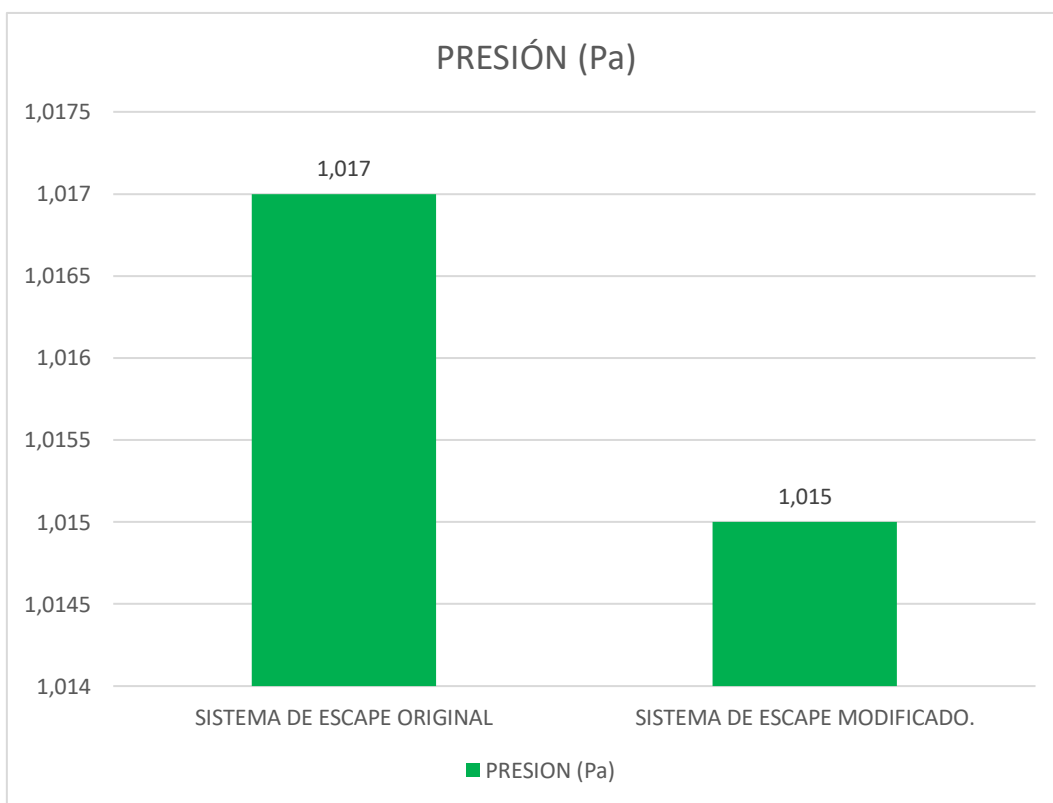


Figura 84 Gráfico de comparación de la presión de los valores mínimos obtenidos en la simulación.

(Suntaxi 2018)

4.3 Gráficos de los porcentajes de variación de los valores máximos y mínimos obtenidos

Por medio de los datos de las tablas 5 y 6 se procederá a realizar unos gráficos de porcentajes de las variaciones de los valores máximos y mínimos que se obtuvieron mediante la simulación de los sistemas de escape.

4.3.1 Gráficos en porcentajes de variación en los valores máximos

En la Figura 85 se observa el porcentaje de variación en valores máximos de la temperatura que se obtuvo mediante la simulación de los sistemas de escape, donde se observa que hubo una ligera disminución de la temperatura con respecto al sistema de escape original.

La temperatura del sistema de escape modificado con respecto al sistema de escape original disminuyó un 1.3%, esta variación es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

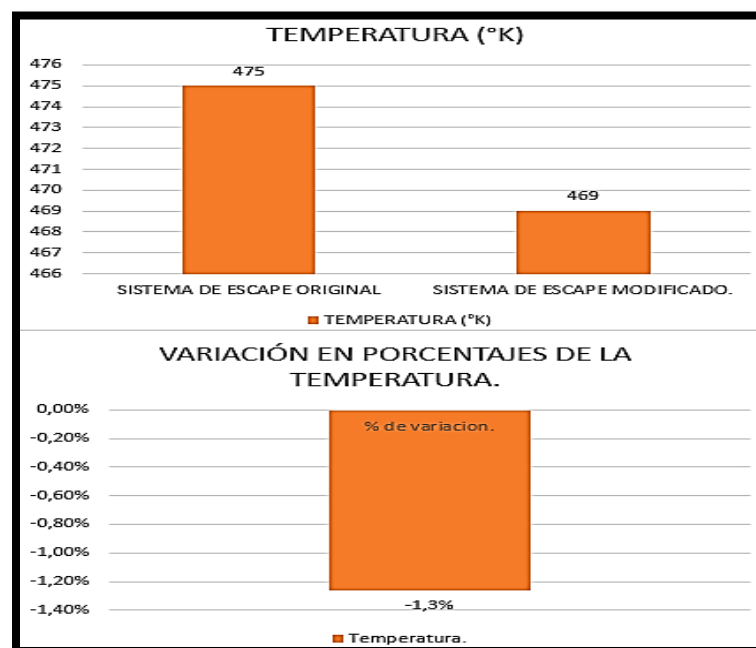


Figura 85 Porcentaje de variación de los valores máximos de temperatura.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 86 podremos observar el porcentaje de variación en valores máximos de la velocidad que se obtuvo mediante la simulación de los sistemas de escape, en el cual podemos constatar que hubo un aumento de la velocidad con respecto al sistema de escape original.

La velocidad del sistema de escape modificado con respecto al sistema de escape original aumento un 131.07%, esta variación es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

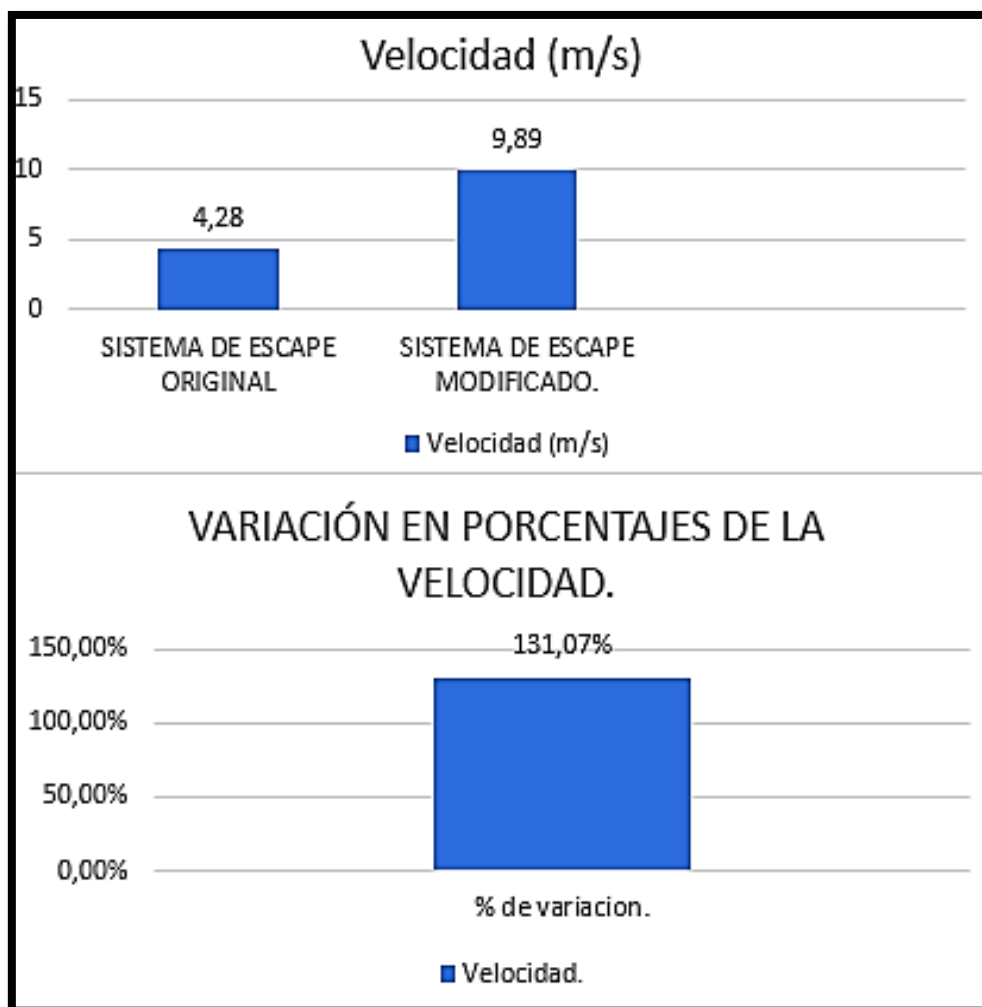


Figura 86 Porcentaje de variación de los valores máximos de la velocidad.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 87 podremos observar el porcentaje de variación en valores máximos de la presión que se obtuvo mediante la simulación de los sistemas de escape, en el cual podemos constatar que hubo una disminución de la presión con respecto al sistema de escape original.

La presión del sistema de escape modificado con respecto al sistema de escape original disminuyó un 4.59%, esta variación es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

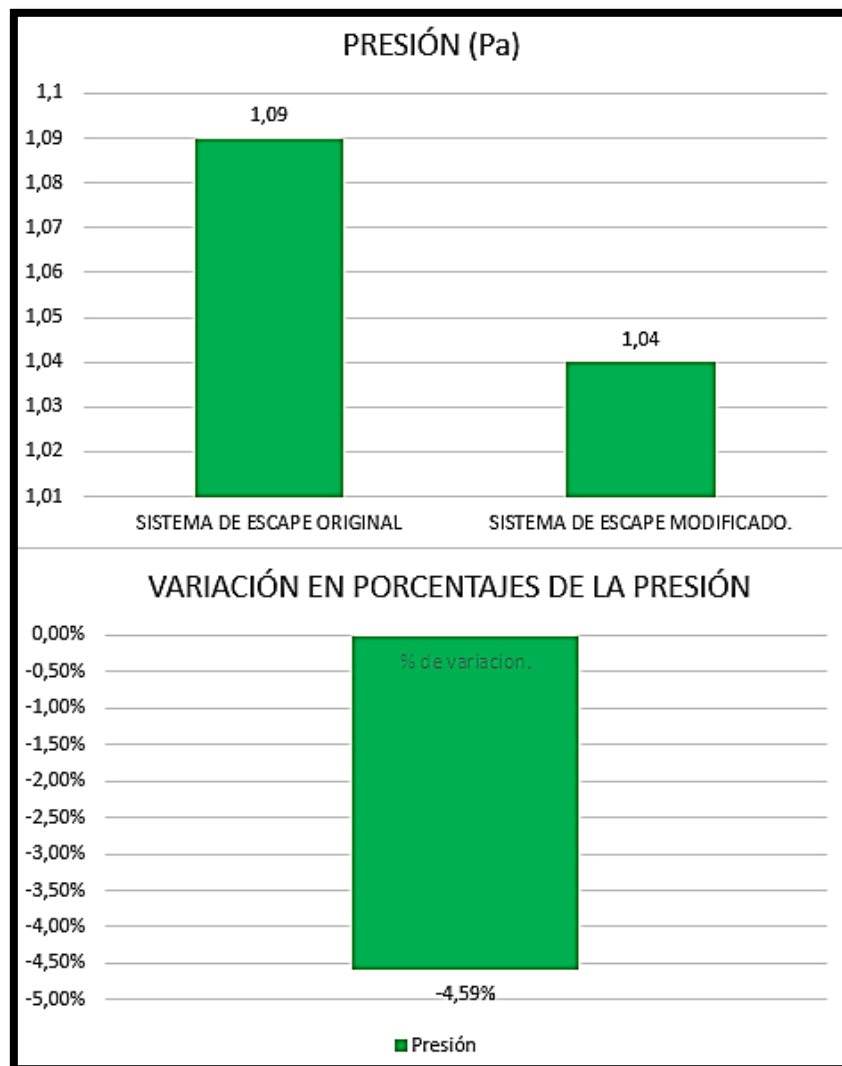


Figura 87 Porcentaje de variación de los valores máximos de la presión.

(Suntaxi 2018)

4.3.2 Gráficos de los porcentajes de variación de los valores mínimos

En la Figura 88 podremos observar el porcentaje de variación en valores mínimos de la temperatura que se obtuvo mediante la simulación de los sistemas de escape, en el cual podemos constatar que hubo disminución de la temperatura con respecto al sistema de escape original.

La temperatura del sistema de escape modificado con respecto al sistema de escape original disminuyó un 9%, esta variación es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

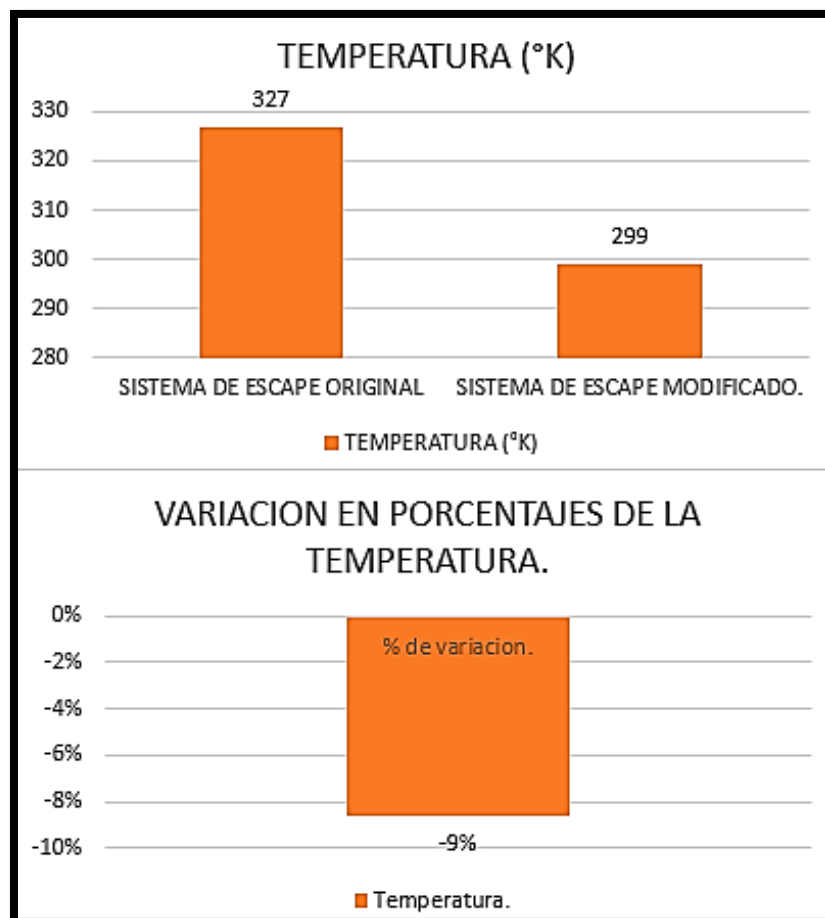


Figura 88 Porcentaje de variación de los valores mínimos de temperatura.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 89 podremos observar el porcentaje de variación en valores mínimos de la velocidad que se obtuvo mediante la simulación de los sistemas de escape, en el cual podemos constatar que hubo un aumento de la velocidad de los gases con respecto al sistema de escape original.

La velocidad del sistema de escape modificado con respecto al sistema de escape original aumento un 34.62%, esta variación es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

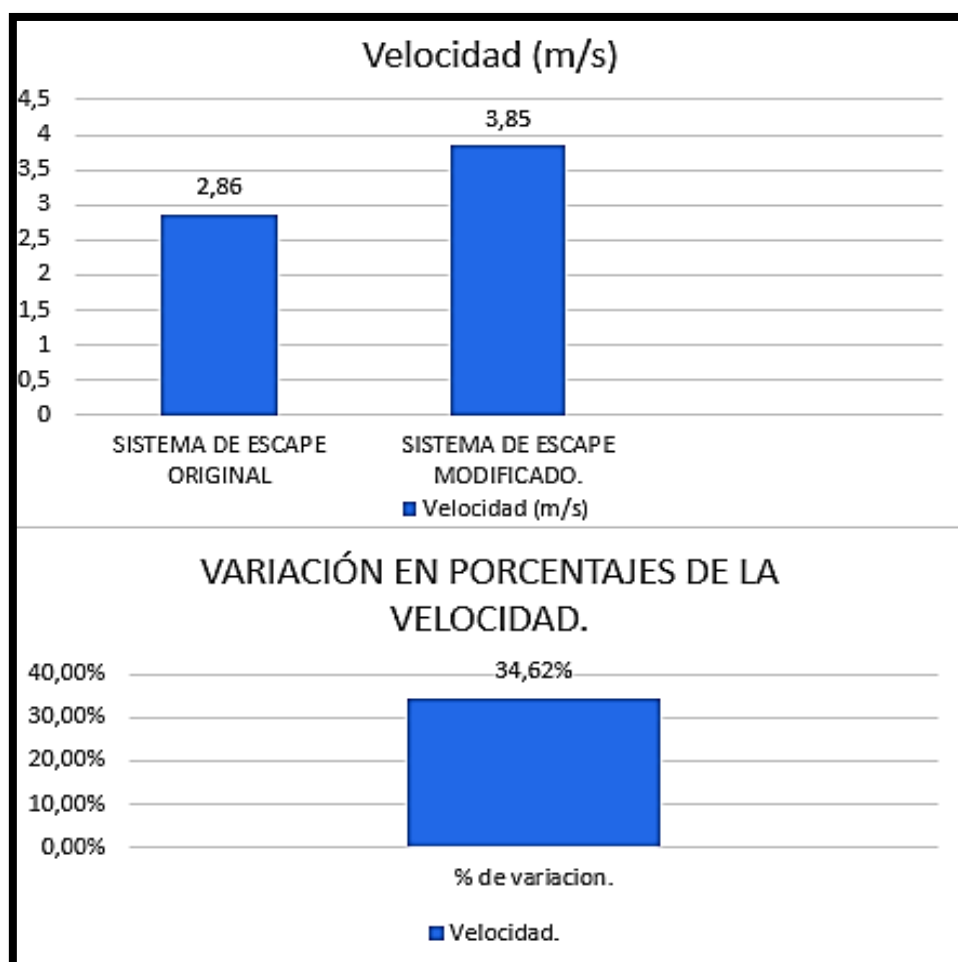


Figura 89 Porcentaje de variación de los valores mínimos de velocidad.

(Suntaxi 2018)

En la Figura 90 podremos observar el porcentaje de variación en valores mínimos de la presión que se obtuvo mediante la simulación de los sistemas de escape, en el cual podemos constatar que hubo una disminución de la presión con respecto al sistema de escape original.

La presión del sistema de escape modificado con respecto al sistema de escape original disminuyó un 0.2%, esta variación es producto de las modificaciones que se realizaron en el sistema de escape, como son el vaciado del contenido que se encuentra en el interior del catalizador, modificación interna del resonador y del silenciador de escape en los cuales el flujo de gases combustionados no podrán ser contenidos por diferentes bloqueos como se pueden encontrar en el resonador y silenciador del sistema de escape original.

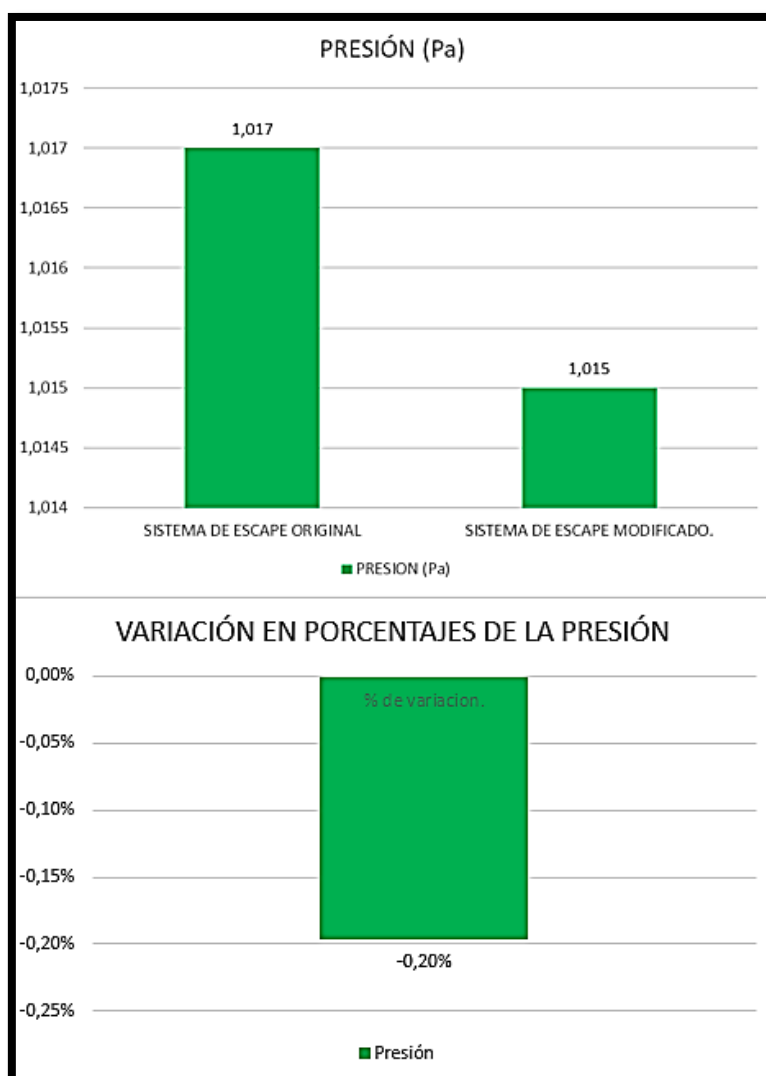


Figura 90 Porcentaje de variación de los valores mínimos de la presión.

(Suntaxi 2018)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Para el presente estudio se realizó el despiece del sistema de escape original del Chevrolet Sail y así poder obtener las medidas reales de cada uno de los elementos que conforman este sistema de escape y poder diseñarlo para su posterior simulación con ayuda del software de simulación CFD el cual fue utilizado para la investigación. Con ayuda de los programas se pudo diseñar el sistema de escape original y otro sistema de escape el cual fue modificado en algunos elementos del sistema para poder analizar qué beneficios o inconvenientes tendríamos al hacer estas modificaciones.
- Para las simulaciones en los sistemas de escape se analizaron las variables de presión, temperatura y velocidad de los gases combustionados que se desplazan a lo largo de los sistemas de escape hasta ser expulsados al exterior, los mismos valores de las variables de entrada y salida fueron utilizados en ambos sistemas para que al conocer los resultados se analizaron las diferencias obtenidas de cada sistema de escape. Los resultados de las simulaciones de cada sistema de escape nos entregaron valores máximos y mínimos de las variables que buscamos simular, estas fueron comparadas entre sí para poder analizar el desempeño de cada sistema de escape y poder conocer si las modificaciones que se le realizó al sistema de escape original podrían resultar beneficiosas para el vehículo.
- Al analizar cada uno de los gráficos de las variables en sus valores máximos y mínimos se puede concluir que las modificaciones ofrecen una mejora en cada una de las variables del sistema de escape del vehículo, pero una de las modificaciones la cual consistió en eliminar el interior del catalizador implica que este sistema va a generar una mayor contaminación del medio ambiente en comparación al sistema de escape original.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar una nueva investigación para un nuevo diseño del sistema de escape del Chevrolet Sail, el cual nos permita tener mejores resultados de las variables que buscábamos analizar.
- Analizar el diseño de cada componente del sistema de escape y conocer cómo se desplazan los gases combustionados a través del sistema y que mejoras podamos hacer para no afectar el rendimiento del sistema de escape original.
- Diseñar un sistema de escape aumentando el diámetro del tubo de todo el sistema de escape y analizar qué beneficios o que inconvenientes podremos obtener para el vehículo.
- Construir el sistema de escape e implementar un banco de pruebas para conocer la potencia generada por el motor con el nuevo sistema de escape.
- Implementar programas de diseños y simulación especializados en dinámica de fluidos computacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ansys. (febrero de 2018). Wwww.sharcnet.ca. Obtenido de https://www.sharcnet.ca/software/ansys/18.2.2/enus/help/wb_msh/msh_jacobian_ratio.html
- Ansys. (01 de 2019). Ansys. Obtenido de www.ansys.com
- Asidek. (25 de 08 de 2018). Obtenido de <https://www.asidek.es/producto/autodesk-inventor-2017/>
- Bell, g. (2006). Four -stroke performance tuning (tercera ed.) . Haynes publishing.
- Bernal, a. &. (2007). Diseño del ala para un vehículo aereo no tripulado. Medellin.
- Bernal, a., & orrego, s. (2007). Diseño del ala para un vehiculo aereo no tripulado. Medellin.
- Calleja, d. G. (2015). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares. Madrid, españa: ediciones paraninfo, s.a.
- Capsa mexico. (21 de 08 de 2009). Obtenido de <https://www.capsamexico.com/medidoresflujo.html>
- Carrion isbert, a. (2006). Diseño acustico de espacios arquitectonicos. Barcelona- españa: ediciones upc.
- Casanovas, r. C.-j.-i.-x.-d.-o.-i.-s.-l.-s.-d.-a.-x.-j.-r.-c.-j. (2005). Motores alternativos de combustion interna. Barcelona: ediciones upc.
- Fotonostra. (25 de 8 de 2014). Fotonostra. Obtenido de <https://www.fotonostra.com/digital/frecuenciaudio.htm>
- Gassattack. (25 de 8 de 2015). Gagassattack. Obtenido de www.gassattack.com/articulos_tecnicos/escapes.pdf
- Jácome gómez, v. S., & ortiz moya, n. G. (2018). Diseño y construcción de un prototipo de silenciador de sonido variable para sistemas de escape de motores de combustión interna de cuatro tiempos de 200cc. Sangolqui.
- Jimenez, e. (10 de 02 de 2017). La nacion. Obtenido de <https://www.pressreader.com/costa-rica/la-nacion-costa-rica/20170210/281487866095638>
- Locker, a. (12 de 04 de 2018). All3dp. Obtenido de <https://all3dp.com/es/1/mejores-programas-diseno-3d-software-modelado-3d-gratis/#rhino3d>
- Melchor, j. C. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo otto. Andalucía - españa: innovación y cualificación, s. L.

Motorgiga. (05 de 08 de 2016). Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/catalizador>

Pce-iberica. (25 de 8 de 2015). Pce-iberica. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/termometros-infrarrojos.htm>

Peña, i. G., santamaria, j. R., & lópez, c. A. (2008). Flujo comprensible en múltiple de motores. Antoquia: editorial universidad de antoquia.

Presidencia de la republica. (2003). Limites permisibles de niveles de ruido. Quito.

Rodriguez, a. (01 de 02 de 2018). Geniolandia. Obtenido De <https://www.geniolandia.com/13173900/temperatura-de-los-gases-de-escape-gasolina-vs-diesel>

Tarquino, c. S. (noviembre de 2014). Diseño y construccion del multiple de escape para el motor yamaha fzr600 de la formula sae. Tesis, universidad politècnica salesiana. Cuenca, azuay, ecuador.

3dcadportal. (13 de 04 de 2018). Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>