



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PERFECCIONAMIENTO  
DE PARTES AUTOMOTRICES SEGÚN METODOLOGÍAS NVH  
PARA REDUCIR LAS VIBRACIONES.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES:**

**BRYAN ISMAEL CAIZA ARROYO**

**EDGAR DAVID SALAZAR TIBAN**

Riobamba – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PERFECCIONAMIENTO  
DE PARTES AUTOMOTRICES SEGÚN METODOLOGÍAS NVH  
PARA REDUCIR LAS VIBRACIONES.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: BRYAN ISMAEL CAIZA ARROYO**

**EDGAR DAVID SALAZAR TIBAN**

**DIRECTOR: Ing. EDWIN RODOLFO POZO SAFLA**

Riobamba – Ecuador

2024

**© 2024, Bryan Ismael Caiza Arroyo & Edgar David Salazar Tiban**

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

Nosotros, Bryan Ismael Caiza Arroyo y Edgar David Salazar Tiban, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de junio 2024

  
**Bryan Ismael Caiza Arroyo**  
**C.I: 050329437-3**

  
**Edgar David Salazar Tiban**  
**C.I: 180442887-6**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL PERFECCIONAMIENTO DE PARTES AUTOMOTRICES SEGÚN METODOLOGÍAS NVH PARA REDUCIR LAS VIBRACIONES**, realizado por los señores: **BRYAN ISMAEL CAIZA ARROYO** y **EDGAR DAVID SALAZAR TIBAN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-06-24
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-24
Ing. Juan Carlos Quinchuela Paucar <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-06-24

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de grado a mis padres Luis y Mirian, que sin su apoyo a lo largo de este camino todo lo que he logrado no habría sido posible, a mi padre Luis por tus consejos, tu apoyo incondicional y toda la paciencia que me has demostrado, de todo corazón agradecer a mi madre Mirian pues sin ella no lo habría logrado tu bendición diaria a lo largo de mi vida me protege y me ha llevado por el camino del bien, a mis hermanos, mi cuñada y sobrinas por estar a mi lado siempre haciéndome compañía demostrándome su apoyo incondicional los quiero. Por eso les doy mi trabajo en agradecimiento por toda su paciencia y amor

David

Quiero dedicar este trabajo a mi padre Vicente, por acompañarme en cada paso a lo largo de este arduo camino académico por motivarme día a día a ser una mejor persona y profesional, por soportar todos los malos momentos vividos. A mi madre Ximena que es la persona que me dio la vida y aunque no se encuentre aquí sé que desde el cielo siempre me acompaña en todo camino difícil para obtener este gran logro. A mi hermano Kevin que de igual forma siempre me apoyo en la parte académica y estuvo en todo momento a mi lado sin dejarme decaer y dándome ánimos para esforzarme. A mis abuelitas que son un gran ejemplo para seguir adelante demostrando cada día perseverancia para lograr alcanzar las metas. A mi madrastra y hermanastros los cuales me apoyaron a lo largo de este camino dándome ánimos y asíéndome sonreír. También a una persona muy especial que apareció a la mitad de mi carrera al ser una gran compañía para mí en momentos difíciles, apoyándome dándome muchos ánimos y llegando a ganarse todo mi amor y cariño. Y sin más a mis compañeros de esta prestigiosa universidad los cuales fueron personas muy especiales que me ayudaron en todo momento y lograr que seamos un gran grupo de amigos. Por esto les dedico todo este trabajo que con tanto esfuerzo y dedicación fue realizado.

Bryan

## AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi agradecimiento a esta prestigiosa institución Escuela Superior Politécnica De Chimborazo en especial a la carrera de Ingeniería Automotriz, este siendo mi segundo hogar. A mi abuelito Hugo que a medio de mi carrera se fue de mi lado para estar en el cielo, pero siempre me guio para que siga adelante y darme valor para no decaer. A mi padre por el apoyo incondicional para lograr esta meta tan importante, agradezco su paciencia, comprensión y aliento en cada paso de este viaje académico, a mis hermanos Kevin y Jhosselyn por motivarme a seguir y aconsejarme siempre a pesar de todo mal momento, a mi madrastra por ser un gran apoyo para mi padre y para mí en todo momento y brindarme su cariño de madre y a mis hermanastros por brindarme su cariño y sus risas que día tras día compartimos. Y un agradecimiento especial a mis dos abuelitas Esther y Gladys que fueron muy importantes para mi vida dándome consejos y su bendición en cada momento. Finalmente, quiero reconocer el inestimable apoyo emocional y motivacional de toda mi familia y todos mis amigos que creyeron en mí cuando las cosas se volvieron desafiantes. Este logro no habría sido posible sin su contribución.

Bryan

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han estado a lo largo de este sueño, en especial a mi abuelito Alberto que aunque no esté presente sé que me cuida desde el cielo mil gracias, a mis hermanos Daniel y Fernando su apoyo incondicional, consejos y experiencias vividas me alentaron a continuar en los momentos más difíciles por no dejarme rendir y a animarme a seguir adelante se los agradezco, a mis dos abuelitas por su apoyo, sus consejos y amor que me dan, a mis tíos Jaime y Olga por ser como unos segundos padres para mí les agradezco su paciencia, comprensión y aliento en cada paso de este viaje académico. Finalmente, quiero reconocer el inestimable apoyo emocional y motivacional de todos aquellos que creyeron en mí cuando las cosas se volvieron muchos más desafiantes a toda mi familia y amigos que este logro no habría sido posible sin su contribución gracias.

David

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Hipótesis.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.1. Hipótesis alternativa:.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.2. Hipótesis nula:.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.3. Validación de las hipótesis:.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Objetivos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.1. Objetivo general.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>5</b>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Referencias teóricas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1. Noise Vibration Harshness (NVH).....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.1. Impacto y Regulaciones de NVH en Salud y Seguridad.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.2. Soluciones NVH en Ingeniería Automotriz.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1.3. ¿Qué es Noise Vibration Harshness (NVH)?.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1.4. Aplicaciones de Noise Vibration Harshness (NVH).....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1.5. Funcionamiento Noise Vibration Harshness (NVH).....</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.6. Software CAD (Diseño Asistido por Computadora) para la metodología NVH.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1.7. Software CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) para la metodología NVH.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2. Ruido.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2.1. Fundamentos del Ruido en Automoción.....</b>	<b>14</b>



2.1.2.2.	<i>Escalas de Tolerancia para el Ruido</i> .....	16
2.1.2.3.	<i>Límites de Tolerancia para el Ruido</i> .....	16
2.1.2.4.	<i>Efectos de Superar los Límites de Ruido</i> .....	17
2.1.2.5.	<i>Evaluación y Medición del Ruido en Vehículos</i> .....	18
2.1.2.6.	<i>Métodos de Medición de Ruido Instrumentación y Técnicas</i> .....	18
2.1.2.7.	<i>Técnicas de Reducción y Control de Ruido</i> .....	19
2.1.3.	<b><i>Vibración</i></b> .....	19
2.1.3.1.	<i>Tipos de Vibración en Vehículos</i> .....	20
2.1.3.2.	<i>Diagnóstico y Medición de Vibraciones</i> .....	21
2.1.3.3.	<i>Impacto de las Vibraciones en la Salud y la Seguridad</i> .....	22
2.1.3.4.	<i>Efectos de Superar los Límites de Vibraciones</i> .....	23
2.1.4.	<b><i>Asperezas</i></b> .....	24
2.1.4.1.	<i>Medición de Asperezas</i> .....	25
2.1.4.2.	<i>Relación con Materiales</i> .....	26
2.1.4.3.	<i>Asperiza en Componentes Internos</i> .....	27
2.1.5.	<b><i>Confort</i></b> .....	27
2.1.6.	<b><i>Sistema de gases de escape</i></b> .....	27
2.1.6.1.	<i>¿Qué es el sistema de gases de escape?</i> .....	27
2.1.6.2.	<i>Funcionamiento del Sistema de gases de escape</i> .....	28
2.1.6.3.	<i>Partes del sistema de gases de escape</i> .....	28
2.1.6.4.	<i>Tipos de sistemas de escape</i> .....	30
2.1.7.	<b><i>Propiedades de los Materiales de fabricación del sistema de gases de escape</i></b> .....	31
2.1.7.1.	<i>Acero al Carbono</i> .....	32
2.1.7.2.	<i>Acero Inoxidable</i> .....	32
2.1.7.3.	<i>Aleaciones de Titanio</i> .....	32
2.1.7.4.	<i>Dimensiones en el sistema de gases de escape</i> .....	33
2.1.8.	<b><i>Aplicación de Metodologías NVH (Ruido, Vibración y Dureza)</i></b> .....	33

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	35
3.1.	<b>Diseño de la Investigación</b> .....	35
3.1.1.	<i>Enfoque cualitativo</i> .....	35
3.2.	<b>Nivel o tipo de investigación</b> .....	35
3.2.1.	<i>Descriptiva</i> .....	35
3.2.2.	<i>Revisión de literatura y recopilación de datos</i> .....	36
3.3.	<b>Modelado y Diseño</b> .....	36

3.3.1.	<i>Simulación y análisis de datos NVH</i> .....	37
3.3.2.	<i>Evaluación y mejora del diseño</i> .....	37
3.3.3.	<i>Documentación y presentación de resultados</i> .....	37
3.4.	<b>Protocolo de ensayo</b> .....	40
3.4.1.	<i>Fase 1: Modelado CAD</i> .....	40
3.4.2.	<i>Fase 2: Preprocesamiento</i> .....	48
3.4.2.1.	<i>Simulación con la herramienta Trascient Thermal</i> .....	48
3.4.2.2.	<i>Simulación con la herramienta Modal para determinar los modos de vibración</i> .....	52
3.4.2.3.	<i>Simulación con la herramienta Harmonic Response</i> .....	56
3.4.2.4.	<i>Simulación con la herramienta Harmonic Acoustics</i> .....	64

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	73
4.1.	<b>Fase 3: Post Procesamiento</b> .....	73
4.1.1.	<i>Resultados Vibraciones diseño 1</i> .....	73
4.1.1.1.	<i>Transient Thermal</i> .....	73
4.1.1.2.	<i>Análisis de Vibración modal</i> .....	74
4.1.1.3.	<i>Análisis Harmonic Response</i> .....	76
4.1.1.4.	<i>Análisis Random Vibration</i> .....	77
4.1.1.5.	<i>Análisis Harmonic Acoustics</i> .....	78
4.1.2.	<i>Resultados Vibraciones diseño 2</i> .....	80
4.1.2.1.	<i>Transient Thermal</i> .....	80
4.1.2.2.	<i>Análisis de vibración modal</i> .....	81
4.1.2.3.	<i>Análisis Harmonic Response</i> .....	84
4.1.2.4.	<i>Análisis Random Vibration</i> .....	85
4.1.2.5.	<i>Análisis Harmonic Acoustics</i> .....	86
4.1.3.	<i>Resultados Vibraciones diseño 3</i> .....	88
4.1.3.1.	<i>Transient Thermal</i> .....	88
4.1.3.2.	<i>Análisis de vibración modal</i> .....	89
4.1.3.3.	<i>Análisis Harmonic Response</i> .....	91
4.1.3.4.	<i>Análisis Random Vibration</i> .....	92
4.1.3.5.	<i>Análisis Harmonic Acoustics</i> .....	93
4.1.4.	<i>Resultados Ruido</i> .....	95
4.1.4.1.	<i>Toma de datos parte externa</i> .....	95
4.1.4.2.	<i>Toma de datos parte internas</i> .....	97
4.1.5.	<i>Resultados Asperezas</i> .....	98

<b>4.2.</b>	<b>Validación de la hipótesis</b> .....	101
<b>4.2.1.</b>	<i>Vibración</i> .....	102
<b>4.2.2.</b>	<i>Ruido</i> .....	103
<b>4.2.3.</b>	<i>Aspereza</i> .....	104

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	105
<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	105
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	106

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Ventajas y Desventajas CAD. ....	11
<b>Tabla 2-2:</b>	Ventajas y Desventajas CAE.....	13
<b>Tabla 3-1:</b>	Fases de análisis computacional.....	40
<b>Tabla 3-2:</b>	Características generales del modelo SUV – geometría.....	40
<b>Tabla 3-3:</b>	Toma de medición en el vehículo.....	41
<b>Tabla 3-4:</b>	Resumen de operaciones del modelo CAD.....	43
<b>Tabla 4-1:</b>	Modos de deformación por frecuencia. ....	75
<b>Tabla 4-2:</b>	Modos de deformación por frecuencia en el diseño modificado con el mismo material.....	82
<b>Tabla 4-3:</b>	Modos de deformación por frecuencia. ....	89
<b>Tabla 4-4:</b>	Recolección de datos de ruido parte externa.....	96
<b>Tabla 4-5:</b>	Recolección de datos de ruido parte externa. ....	97
<b>Tabla 4-6:</b>	Características de los diseños.....	101
<b>Tabla 4-7:</b>	Análisis de varianza y medias.....	102
<b>Tabla 4-8:</b>	Análisis de varianza y medias.....	104

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Ondas de ruido y vibración en la cabina de un automóvil .....	10
<b>Ilustración 2-2:</b>	Niveles de ruido en el vehículo. ....	15
<b>Ilustración 2-3:</b>	Escala de tolerancia para el ruido.....	16
<b>Ilustración 2-4:</b>	Escala de decibeles y niveles de ruido. ....	18
<b>Ilustración 2-5:</b>	Escala de vibraciones y límites de exposición .....	23
<b>Ilustración 2-6:</b>	Valores de rugosidad.....	26
<b>Ilustración 2-7:</b>	Partes del sistema de escape.....	30
<b>Ilustración 2-8:</b>	Sistemas de escape. ....	31
<b>Ilustración 3-1:</b>	Niveles de ruido en el vehículo. ....	39
<b>Ilustración 3-2:</b>	Dimensiones generales de un vehículo .....	41
<b>Ilustración 3-3:</b>	Inicio de Workbench 2024 R1. ....	48
<b>Ilustración 3-4:</b>	Selección de herramienta Transient Thermal.....	48
<b>Ilustración 3-5:</b>	Cargar el modelo CAD con extensión “. STEP o. IGES”.....	49
<b>Ilustración 3-6:</b>	Cargar los materiales que vamos a utilizar en la simulación.....	49
<b>Ilustración 3-7:</b>	Ejecutar la ventana de trabajo para iniciar la simulación. ....	50
<b>Ilustración 3-8:</b>	El modelo CAD cargado correctamente.....	50
<b>Ilustración 3-9:</b>	Modelo CAD mallado. ....	51
<b>Ilustración 3-10:</b>	Asignación de los valores iniciales para la simulación. ....	51
<b>Ilustración 3-11:</b>	Temperatura inicial de 800°C, para iniciar la simulación. ....	52
<b>Ilustración 3-12:</b>	Selección de operaciones para la interpretación de los resultados. ....	52
<b>Ilustración 3-13:</b>	Selección de la herramienta para la simulación. ....	53
<b>Ilustración 3-14:</b>	Cargar el modelo CAD.....	53
<b>Ilustración 3-15:</b>	Modelo CAD mallado. ....	54
<b>Ilustración 3-16:</b>	Anclajes necesarios para la simulación. ....	54
<b>Ilustración 3-17:</b>	Modos de vibración.....	55
<b>Ilustración 3-18:</b>	Resultados de la simulación. ....	55
<b>Ilustración 3-19:</b>	Selección de la herramienta para la simulación. ....	58
<b>Ilustración 3-20:</b>	El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación..	59
<b>Ilustración 3-21:</b>	Modelo CAD mallado por default.....	59
<b>Ilustración 3-22:</b>	Puntos de interés para la simulación. ....	60
<b>Ilustración 3-23:</b>	Resultados de la simulación Harmonic Response.....	60
<b>Ilustración 3-24:</b>	Selección de la herramienta para la simulación. ....	61
<b>Ilustración 3-25:</b>	El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación..	61
<b>Ilustración 3-26:</b>	Modelo CAD mallado por default.....	62

<b>Ilustración 3-27:</b>	Puntos de interés para la simulación. ....	63
<b>Ilustración 3-28:</b>	Resultados de la simulación Random Vibration. ....	64
<b>Ilustración 3-29:</b>	Selección de la herramienta para la simulación Harmonic Acoustic. ....	64
<b>Ilustración 3-30:</b>	El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación..	65
<b>Ilustración 3-31:</b>	El sistema encapsulado para realizar la simulación. ....	66
<b>Ilustración 3-32:</b>	Modelo CAD mallado por default.....	66
<b>Ilustración 3-33:</b>	Puntos de interés para la simulación. ....	67
<b>Ilustración 3-34:</b>	Resultados de la simulación Harmonic Acoustics. ....	68
<b>Ilustración 3-35:</b>	Selección de la herramienta para la simulación Fluid Flow (Fluent).....	68
<b>Ilustración 3-36:</b>	El modelo están cargado correctamente para continuar simulación CFD....	69
<b>Ilustración 3-37:</b>	Modelo en 2D para realizar la simulación.....	69
<b>Ilustración 3-38:</b>	Ejecutar la herramienta para iniciar con la simulación CFD.....	70
<b>Ilustración 3-39:</b>	Modelo CAD mallado por default en la herramienta CFD. ....	70
<b>Ilustración 3-40:</b>	Condiciones de simulación CFD.....	71
<b>Ilustración 3-41:</b>	Selección de resultados de la simulación CFD. ....	71
<b>Ilustración 3-42:</b>	Análisis finalizado e interpretación de resultados. ....	72
<b>Ilustración 4-1:</b>	Alcance de temperatura en el diseño modificado con dos salidas.....	74
<b>Ilustración 4-2:</b>	Condiciones en el sistema para la simulación. ....	74
<b>Ilustración 4-3:</b>	Modos de deformación a medida de aumento de frecuencia .....	76
<b>Ilustración 4-4:</b>	Deformación total del sistema por presión de gases y frecuencia.....	76
<b>Ilustración 4-5:</b>	Deformación total del sistema por presión de gases y frecuencia.....	77
<b>Ilustración 4-6:</b>	Datos de frecuencia y aceleración ingresados en ANSYS para simulación.	77
<b>Ilustración 4-7:</b>	Deformación direccional en base a variables de frecuencia y aceleración...	78
<b>Ilustración 4-8:</b>	Caja para el análisis acústico.....	78
<b>Ilustración 4-9:</b>	Análisis de niveles de sonido .....	79
<b>Ilustración 4-10:</b>	Análisis de ruido mediante frecuencia .....	79
<b>Ilustración 4-11:</b>	Deformación total.....	80
<b>Ilustración 4-12:</b>	Temperatura en el diseño modificado. ....	81
<b>Ilustración 4-13:</b>	Condiciones en el sistema para la simulación. ....	81
<b>Ilustración 4-14:</b>	Deformación a medida de aumento de frecuencia en el nuevo diseño.....	83
<b>Ilustración 4-15:</b>	Presión de gases y frecuencia en el sistema modificado .....	84
<b>Ilustración 4-16:</b>	Deformación total sistema modificado por presión de gases y frecuencia...	84
<b>Ilustración 4-17:</b>	Datos de frecuencia y aceleración ingresados en ANSYS para la simulación en el nuevo diseño .....	85
<b>Ilustración 4-18:</b>	Deformación direccional en base a las variables de frecuencia y aceleración con el nuevo diseño. ....	85
<b>Ilustración 4-19:</b>	Caja para el análisis acústico con el diseño nuevo .....	86

<b>Ilustración 4-20:</b>	Análisis de niveles de sonido en el diseño modificado .....	86
<b>Ilustración 4-21:</b>	Análisis de ruido mediante frecuencia en el nuevo diseño.....	87
<b>Ilustración 4-22:</b>	Deformación total.....	87
<b>Ilustración 4-23:</b>	Alcance de temperatura en el diseño modificado con distinto material. ....	88
<b>Ilustración 4-24:</b>	Condiciones para la simulación en el diseño 3 con distinto material.....	89
<b>Ilustración 4-25:</b>	Modos de deformación a medida aumento frecuencia en el nuevo diseño. .	91
<b>Ilustración 4-26:</b>	Ubicación de presión de gases y frecuencia en el sistema modificado.....	91
<b>Ilustración 4-27:</b>	Deformación total del sistema por presión de gases y frecuencia. ....	92
<b>Ilustración 4-28:</b>	Datos de frecuencia y aceleración ingresados en ANSYS para simulación.	92
<b>Ilustración 4-29:</b>	Deformación direccional en base a variables de frecuencia y aceleración...	93
<b>Ilustración 4-30:</b>	Encajonamiento del diseño 3 para el análisis acústico.....	93
<b>Ilustración 4-31:</b>	Análisis de nivel de sonido.....	94
<b>Ilustración 4-32:</b>	Niveles de ruido a medida que su frecuencia cambia.....	94
<b>Ilustración 4-33:</b>	Análisis de deformación total expuesto a la frecuencia máxima. ....	95
<b>Ilustración 4-34:</b>	Niveles de ruido vs las RPM del motor en diferentes puntos del sistema de escape. ....	96
<b>Ilustración 4-35:</b>	Niveles de ruido percibido en la cabina con las ventanas frontales abiertas y cerradas.....	97
<b>Ilustración 4-36:</b>	Niveles de ruido vs las RPM del motor interior parte posterior.....	98
<b>Ilustración 4-37:</b>	Nivel de presión a la que está sometido el sistema de escape en 2D. ....	99
<b>Ilustración 4-38:</b>	Velocidad máxima a la que circula el fluido por el punto más crítico. ....	99
<b>Ilustración 4-39:</b>	Energía cinética de turbulencia que experimenta el sistema de escape en su punto más crítico. ....	100
<b>Ilustración 4-40:</b>	Diseño del sistema en 2D para realizar la simulación.....	100
<b>Ilustración 4-41:</b>	Diseño del sistema en 2D.....	101
<b>Ilustración 4-42:</b>	Diseño del sistema en 2D para realizar la simulación.....	101
<b>Ilustración 4-43:</b>	Selección de prueba de hipótesis.....	102
<b>Ilustración 4-44:</b>	Dato del valor p.....	103
<b>Ilustración 4-45:</b>	Puntos medios de los datos de frecuencia .....	103
<b>Ilustración 4-46:</b>	Puntos medios de los datos de ruido .....	104

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** MÚLTIPLE DE ESCAPE
- ANEXO B:** MÚLTIPLE DE ESCAPE CON SALIDA 1
- ANEXO C:** CARACTERÍSTICAS DE UN VEHÍCULO
- ANEXO D:** TOMA DE MEDIDAS DEL SISTEMA DE GASES DE ESCAPE
- ANEXO E:** UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ESCAPE
- ANEXO F:** TOMA DE MEDIDAS CON EL SONÓMETRO DEL MÚLTIPLE DE ESCAPE
- ANEXO G:** TOMA DE MEDIDAS DE RUIDO DEL VEHÍCULO PARTE INTERIOR
- ANEXO H:** TOMA DE MEDIDAS PARTE MEDIA DEL SISTEMA DE ESCAPE
- ANEXO I:** VERIFICACIÓN DE MEDIDAS EN EL SISTEMA
- ANEXO J:** VERIFICACIÓN DE RUGOSIDAD DEL TUBO DE ESCAPE



## RESUMEN

El presente trabajo se centra en la fundamentación teórica del perfeccionamiento de partes automotrices a través de la metodología NVH (Noise, Vibration, and Harshness), con el objetivo de reducir las vibraciones y mejorar la calidad percibida por los usuarios en los vehículos. La NVH se destaca como un pilar esencial en la ingeniería automotriz para evaluar y controlar el ruido, la vibración y la aspereza, factores clave para el confort y rendimiento según los estándares de las autoridades competentes. El estudio abarca la identificación de literatura relevante, la modelación gráfica del sistema de gases de escape mediante software CAD/CAE, y la simulación del comportamiento estructural según NVH, para entender las causas principales de problemas relacionados y evaluar mejoras en el diseño. A través de análisis como modal, calidad, nivel y potencia de sonido, se ha logrado un enfoque sistemático para la caracterización de fuentes de ruido y vibración, y la implementación de estrategias de mitigación, resultando en simulaciones que cumplen con los parámetros admisibles en ruido, vibración y aspereza. Los resultados destacan la efectividad del material utilizado y el diseño en condiciones de alta vibración y temperatura, concluyendo que, aunque los diseños están preparados para soportar temperaturas máximas de gases de escape, en condiciones normales de conducción, estas situaciones extremas raramente se presentan. El análisis profundo permite concluir que las mejoras propuestas en el diseño del sistema de escape cumplen con los objetivos de reducción de NVH, marcando un paso adelante en la búsqueda de vehículos más confortables y eficientes desde el punto de vista de ruido, vibración y aspereza.

**Palabras clave:** <METODOLOGÍA NVH> <REDUCCIÓN DE VIBRACIONES> <MITIGACIÓN DE RUIDO> <CONTROL DE ASPEREZA> < SOFTWARE CAD/CAE > < COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL> < DISEÑO DEL SISTEMA DE ESCAPE>

1123-DBRAI-UPT-2024

## SUMMARY

This work focuses on the theoretical basis of automotive parts improvement through the NVH (Noise, Vibration, and Harshness) methodology, with the objective of reducing vibrations and improving the quality perceived by users in vehicles. NVH stands out as an essential pillar in automotive engineering to evaluate and control noise, vibration and harshness, key factors for comfort and performance according to the standards of the competent authorities. The study encompasses the identification of relevant literature, graphical modeling of the exhaust system using CAD/CAE software, and simulation of structural behavior according to NVH, to understand the root causes of related problems and evaluate design improvements. Through analyses such as modal, sound quality, sound level and sound power, a systematic approach has been achieved for the characterization of noise and vibration sources, and the implementation of mitigation strategies, resulting in simulations that comply with the admissible parameters in noise, vibration and harshness. The results highlight the effectiveness of the material used and the design in high vibration and temperature conditions, concluding that, although the designs are prepared to withstand maximum exhaust gas temperatures, in normal driving conditions, these extreme situations rarely occur. The in-depth analysis allows concluding that the proposed improvements in the exhaust system design meet the NVH reduction objectives, marking a step forward in the search for more comfortable and efficient vehicles from the point of view of noise, vibration and harshness.

**Keywords:** <NVH METHODOLOGY> <VIBRATION REDUCTION> <NOISE MITIGATION> <HEAVINESS CONTROL> <CAD/CAE SOFTWARE > <STRUCTURAL BEHAVIOR> <EXHAUST SYSTEM DESIGN>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

La metodología NVH en el diseño de partes automotrices representa un enfoque integral para abordar estos desafíos, mejorando la calidad percibida y la satisfacción del usuario final (Xue et al. 2023a). Sin embargo, la falta de estudios específicos en el ruido y la vibración en sistemas críticos como el de escape subraya la necesidad de una investigación profunda y especializada.

La implementación de metodologías NVH se ha vuelto indispensable en la industria automotriz, en respuesta a la creciente demanda de vehículos que no solo sean eficientes y sostenibles, sino también cómodos y silenciosos. Un estudio realizado por la Organización Internacional de Constructores de Automóviles (OICA) en 2022 señala que más del 60% de los consumidores consideran el nivel de ruido y vibración como factores clave al momento de comprar un vehículo. Dicha estadística subraya la importancia de integrar prácticas de reducción de NVH desde las etapas iniciales del diseño de vehículos (OICA, 2022). Además, la normativa internacional en materia de emisiones y ruido ambiental está siendo cada vez más estricta, obligando a los fabricantes a adoptar soluciones innovadoras para cumplir con estos estándares. En este contexto, el sistema de gases de escape representa un reto particular, ya que es una fuente significativa de ruido y vibración, afectando directamente la experiencia de conducción y la percepción de calidad del vehículo.

Por otro lado, el avance en la tecnología de simulación y modelado ha abierto nuevas posibilidades para el análisis y la mejora de NVH en el diseño automotriz (Ferdousee 2022). La utilización de software especializado en CAD/CAE permite a los ingenieros simular el comportamiento dinámico de los componentes automotrices bajo diferentes condiciones operativas, identificando áreas críticas para la optimización de NVH.

A pesar de los avances tecnológicos y la aplicación de diferentes enfoques teóricos para mitigar el NVH, sigue existiendo una brecha significativa en la aplicación práctica de estas metodologías, especialmente en lo que respecta al sistema de gases de escape (Mendes et al. 2021). La investigación busca llenar ese vacío, proponiendo un enfoque metodológico específico que combina la revisión exhaustiva de bibliografía especializada, modelación gráfica avanzada y simulaciones de comportamiento estructural para optimizar el diseño del sistema de escape.

La problemática central de este estudio radica en la necesidad de desarrollar un diseño de sistema de gases de escape que no solo cumpla con las regulaciones ambientales y de rendimiento, sino que también minimice el impacto de NVH en los ocupantes del vehículo. Para abordar esta cuestión, se establecen objetivos específicos que incluyen la identificación de literatura clave, el

empleo de herramientas CAD/CAE para la modelación y diseño, y la realización de simulaciones detalladas para analizar el comportamiento NVH. A través de estos objetivos, el estudio pretende proporcionar una comprensión profunda de las causas de NVH en el sistema de escape y evaluar las mejoras en el diseño para verificar su efectividad en la reducción de estos efectos indeseados.

La presente investigación se propone, como una contribución significativa al campo del perfeccionamiento de partes automotrices mediante la aplicación de metodologías NVH. Se inicia estableciendo un marco teórico que resalta la importancia de NVH en el diseño automotriz, seguido de una revisión exhaustiva de las investigaciones y desarrollos actuales en el área. Posteriormente, se identifica y analiza el problema principal, detallando el enfoque metodológico adoptado para abordarlo. A lo largo del texto, se incorporan estadísticas relevantes para ilustrar tanto el impacto de las vibraciones en la percepción del usuario como los resultados obtenidos mediante la aplicación de las metodologías NVH. Finalmente, se describen los resultados esperados y se discuten las implicaciones prácticas y teóricas del estudio, marcando un camino hacia futuras investigaciones en este campo vital para la ingeniería automotriz. Al hacerlo, aspira a contribuir significativamente al campo académico y a la práctica de diseño e ingeniería en la industria automotriz, creando vehículos más cómodos, seguros y agradables para sus ocupantes.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La tecnología Noise Vibration Harshness (NVH) realiza el estudio y la medición de ruidos, vibraciones y asperezas, sean estas auditivas o táctiles que permiten identificar fallos en distintos sistemas.

Las metodologías NVH se puede ejecutar en vehículos de todo tipo con la finalidad de menorar los efectos no deseados que están relacionados tanto con el Ruido, las vibraciones y las asperezas que pueden existir en el interior o exterior del vehículo que con lleven afectar negativamente a la conducción del usuario. Esta metodología se puede implementar en diversas partes automotrices, sistemas de gases de escape y partes que se encuentren flojas en la carrocería del vehículo.

Para llegar al perfeccionamiento con relación a la metodología NVH, se desarrollan varias metodologías, que, al no contar con los respectivos estudios de ruido, pueden llegar afectar a la salud de las personas que en circulan en el vehículo por los excesos de ruido y vibraciones producidas.

### 1.2. Justificación

El análisis NVH se ha constituido en un enfoque principal en la industria automotriz y otras áreas que buscan comodidad y mejorar la experiencia del usuario al conducir.

El objetivo de reducir el ruido, las vibraciones y las asperezas es muy importante para la mejora de la calidad de conducción y encontrase regulado tanto por normas y estándares que se encuentran establecidos por el un personal autorizado.

Dentro del análisis NVH se puede identificar y abordar tanto los problemas que produce el ruido y las vibraciones que llegan afectar a la percepción y a la comodidad de los ocupantes, por lo tanto, las mejoras en el análisis NVH nos facilitan en la competitividad.

Un análisis NVH puede ayudar a garantizar que los productos cumplan con estas normas y eviten problemas futuros, con el uso de técnicas e investigaciones actuales, el análisis de nuevos materiales y sistemas de propulsión (como vehículos eléctricos), podemos identificar los factores más importantes que impactan en el comportamiento NVH de los vehículos y cómo mejorarlos

para mantener altos estándares de calidad, lo que permite resolver problemas en etapas tempranas del desarrollo del producto evitando costosas modificaciones y rediseños.

Con este análisis NVH se busca la reducción del ruido y las vibraciones, contribuyendo a una menor contaminación acústica y generando un impacto positivo en el medio ambiente que mejore la calidad de vida de las personas que viven en entornos urbanos. Con el uso de softwares de ingeniería CAD/CAE se busca innovar en este campo de estudio y fundamentar el trabajo de investigación propuesto.

### **1.3. Hipótesis**

#### ***1.3.1. Hipótesis alternativa:***

- Las características de los materiales y dimensiones aplicadas en el diseño reducirán significativamente el nivel de ruido y vibraciones, mejorando así el confort percibido por los pasajeros.
- Según el análisis NVH se reducirá la vibración natural para evitar resonancia con el diseño evitando la deformación del sistema de escape del vehículo.

#### ***1.3.2. Hipótesis nula:***

- Las características de los materiales y dimensiones aplicadas en el diseño no reducirán significativamente el nivel de ruido y vibraciones, empeorando el confort percibido por los pasajeros.
- Según el análisis NVH no se reducirá la vibración natural y no se evitará la resonancia con el diseño, obteniendo deformación del sistema de escape del vehículo.

#### ***1.3.3. Validación de las hipótesis:***

Realizada la simulación del sistema de escape según la metodología NVH, estableceremos una comparativa entre los resultados obtenidos de la simulación del diseño del fabricante y las simulaciones de los nuevos diseños considerando modificaciones con diferentes materiales, dimensiones, etc. Si los resultados se alinean de manera razonable con la hipótesis, está estaría respaldada por la simulación, al no cumplir con las expectativas de la simulación podemos explorar nuevos diseños sin limitaciones en el modelo o materiales utilizados.

## **1.4. Objetivos**

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

Fundamentar teóricamente la perfección de partes automotrices según metodologías NVH para reducir las vibraciones.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Identificar la bibliografía básica y especializada mediante libros, informes, tesis, videos, etc., para determinar las condiciones de ruido, vibraciones y asperezas en el sistema de gases de escape en el vehículo.
- Emplear un software especializado en CAD/CAE mediante la modelación grafica del sistema de gases de escape del vehículo, para establecer un diseño acorde a las medidas de un sistema ya establecido.
- Simular el comportamiento estructural según la metodología NVH mediante la utilización del software y los distintos análisis como el modal, calidad, nivel, potencia, intensidad del sonido, para comprender cuales son las principales causas de los problemas NVH.
- Comparar los resultados de los análisis realizados al diseño del sistema de escape y evaluar si las mejoras en el diseño cumplen o no con la disminución de la metodología NVH.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Referencias teóricas

##### 2.1.1. *Noise Vibration Harshness (NVH)*

Las técnicas NVH se aplican en varios campos de estudio, pero sobre todo esta nueva metodología que empezó en el campo automotriz se enfoca en los ruidos, golpes y rechinamientos generados por los motores de combustión interna. El NVH actualmente nos ayuda a identificar partes claves en el desempeño de diferentes partes automotrices, principalmente previas a la fabricación de automóviles. El rendimiento de NVH del vehículo en fases previa de fabricación puede ayudar a mejorar o deshacer el rendimiento del automóvil, por lo que es importante identificar y disminuir los problemas de NVH en las primeras etapas del Diseño asistido por computadora (Hardik Shah 2023).

La implementación efectiva de la metodología NVH en el diseño de partes automotrices representa un avance significativo en la ingeniería vehicular, permitiendo no solo mejorar el confort y la satisfacción del usuario, sino también aumentar la durabilidad y la fiabilidad de los vehículos (Wang et al. 2020). Además, la orientación hacia la reducción de vibraciones es crucial para abordar desafíos actuales en la industria, como el aumento de las expectativas de los consumidores y la necesidad de cumplir con normativas ambientales y de seguridad cada vez más estrictas. En última instancia, la adopción de metodologías NVH en el perfeccionamiento de partes automotrices es un compromiso de la industria con la innovación continua y la búsqueda de la excelencia en el desempeño y la calidad vehicular.

##### 2.1.1.1. *Impacto y Regulaciones de NVH en Salud y Seguridad*

Las normativas y estándares son cruciales en la definición de los límites y expectativas en cuanto a NVH y establecen criterios claros para los fabricantes de vehículos en términos de los niveles aceptables de ruido, vibración y aspereza (Uhlar, Heyder y König 2021). El cumplimiento de estas normativas es esencial no solo para garantizar la seguridad y comodidad de los ocupantes, sino también para cumplir con las expectativas legales y del mercado. Los estándares NVH varían según la región y el tipo de vehículo, pero todos tienen el objetivo común de mejorar la calidad de conducción y proteger la salud de los usuarios (Holehouse et al. 2019). Los fabricantes que logran superar estos estándares a menudo se ven recompensados con una mejor recepción en el mercado



y una ventaja competitiva, ya que los consumidores cada vez más valoran una experiencia de conducción silenciosa y cómoda.

### *2.1.1.2. Soluciones NVH en Ingeniería Automotriz*

- **Desarrollo de Materiales y Diseño para la Atenuación de Vibraciones**

En la metodología NVH, el desarrollo de materiales avanzados y el diseño innovador son esenciales para la atenuación de vibraciones, implica la utilización de materiales innovadores y aislantes en partes clave del vehículo, como el motor, la suspensión y la cabina, para absorber y disminuir eficazmente las vibraciones (Zheng et al. 2020). El diseño de estos componentes se realiza con un enfoque holístico, considerando cómo interactúan entre sí y con el vehículo en su conjunto, asimismo, se prestan atención a los detalles, como la forma y el posicionamiento de los componentes, para garantizar que no solo sean eficaces en la reducción de vibraciones, sino que también contribuyan a la eficiencia general y la estética del vehículo (Xue et al. 2023b). Este enfoque multidisciplinario asegura que las soluciones NVH no solo resuelvan los problemas de vibración, sino que también mejoren otros aspectos del rendimiento del vehículo, como la eficiencia del combustible, la dinámica de conducción y la durabilidad.

### *2.1.1.3. ¿Qué es Noise Vibration Harshness (NVH)?*

El concepto de Noise Vibration Harshness (NVH) es esencial en la ingeniería automotriz, centrado en tres aspectos fundamentales: ruido, vibración y aspereza, dichos factores son determinantes en la percepción de calidad y confort en un vehículo. El ruido, que abarca cualquier sonido no deseado generado por el vehículo, puede provenir de diversas fuentes como el motor, la transmisión, el sistema de escape y la interacción con el entorno (Hardik Shah 2023). La vibración, por otro lado, se refiere a los movimientos oscilantes que pueden ser percibidos tanto por los pasajeros como por el conductor, originados en el motor, la suspensión, o incluso en el chasis del vehículo (Wang et al. 2020). La aspereza se relaciona con la calidad desagradable de ciertos ruidos o vibraciones, que pueden ser especialmente incómodos y disminuir la sensación de calidad en la experiencia de conducción (Zheng et al. 2020).

En el tratamiento de NVH en partes automotrices, se adopta un enfoque detallado y multidisciplinario, comenzando desde la fase de diseño. Aquí, se consideran aspectos como la selección de materiales, la geometría de las piezas y la integración de sistemas para mitigar el ruido y la vibración eficazmente (Devillers, Gning y Besnerais 2020). Aunque comúnmente se asocia el ruido en los vehículos principalmente con el motor, un análisis más profundo revela una variedad de sonidos producidos por diferentes elementos, desde el ruido del viento en el espejo retrovisor

hasta las revoluciones del motor. Estos sonidos son cruciales para la experiencia de conducción y el confort de los ocupantes. Actualmente, la metodología en el campo NVH permite diseñar, identificar y optimizar estos sonidos en los vehículos, realzando tanto la funcionalidad como la experiencia del usuario (Hardik Shah 2023).

Según Xue et al. (2023), en el desarrollo de motores, se prioriza la reducción de ruido a través de diseños que minimicen el contacto metal-metal y el uso de materiales aislantes que absorban el sonido, por ende, los sistemas de escape son diseñados no solo para ser eficientes en la expulsión de gases, sino también para minimizar el ruido generado durante este proceso. Asimismo, el diseño de chasis y carrocería juega un papel crucial en la disminución de las vibraciones, utilizando estructuras que distribuyen y amortiguan las fuerzas generadas durante la conducción. No solo el diseño, sino también la fabricación de componentes automotrices es crucial. Se utilizan procesos de producción avanzados para garantizar que cada componente cumpla con los estándares de calidad en resistencia al ruido y a la vibración. Los materiales elegidos, como aislantes acústicos, gomas y polímeros especializados, son seleccionados por su capacidad de reducir la transmisión de sonido y vibración. Además, la implementación de tecnologías de monitoreo y control durante la fabricación asegura que cada pieza cumpla con las especificaciones NVH, contribuyendo así a la eficiencia funcional, la calidad percibida y la comodidad del vehículo.

#### *2.1.1.4. Aplicaciones de Noise Vibration Harshness (NVH)*

Las aplicaciones de la metodología NVH en el ámbito automotriz abarcan un espectro amplio que va desde el diseño inicial hasta la producción y las pruebas finales de los vehículos, esta metodología es crucial no solo en la evaluación de la calidad global del vehículo, sino también en la identificación y mejora de áreas específicas susceptibles de optimización (Armentani et al. 2020). En la fase de diseño, NVH juega un papel fundamental al influir en la selección de materiales, la configuración de las piezas y la integración general de los sistemas del vehículo. Se presta especial atención a cómo cada componente, ya sea un soporte de motor, un panel de carrocería o un sistema de suspensión, puede diseñarse para minimizar el ruido y las vibraciones indeseadas.

En el perfeccionamiento de partes automotrices, la aplicación de NVH implica un enfoque detallado en la reducción de ruido y vibración a través de diversos componentes. Los soportes de motor y transmisión son diseñados para absorber vibraciones y evitar la transmisión de estas al chasis y la cabina del vehículo. Los paneles de carrocería se fabrican con materiales y geometrías que disminuyen la vibración y el ruido aerodinámico. Anteriormente para reducir el ruido y la vibración se lograba si el peso del vehículo era mayor, pero con el pasar del tiempo las

demandas actuales de economía de combustible su precio elevado exige cambios en el diseño de piezas automotrices aligerando los materiales de construcción, en lo cual se debe diseñar el mismo modelo, pero a la vez cambiando las características asegurándose de que sean más fuertes, más silenciosas y eficientes (Sanz Vila 2012).

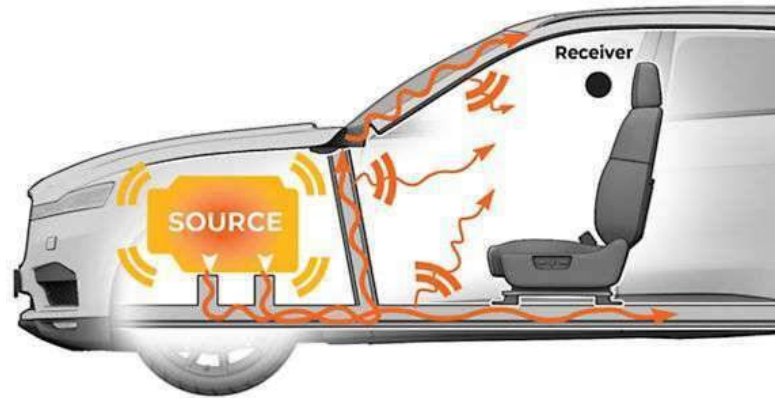
Las partes no solo deben ser diseñadas con un enfoque en NVH, sino que también deben pasar por un riguroso proceso de pruebas y ajustes para asegurar su eficacia, donde se utilizan simulaciones avanzadas y pruebas en entornos controlados para evaluar el rendimiento de NVH de cada componente, ajustándolos según sea necesario para cumplir con los estándares de calidad (Qin et al. 2020). Las pruebas aseguran que cada parte contribuya positivamente al desempeño general de NVH del vehículo, resultando en una experiencia de conducción más silenciosa, suave y agradable (Bischof 2023). La implementación efectiva de las estrategias NVH en el diseño y mejora de partes automotrices representa un compromiso de la industria con la calidad y la satisfacción del cliente, que refleja una búsqueda continua de innovación y excelencia en el ámbito automotriz.

En los vehículos la aplicación para el NVH son varias, pero esta metodología se enfoca en tres fuentes principales que influyen en el análisis de los vehículos como:

- **Aerodinámica:** El viento cochando con el parabrisas, con los espejos retrovisores viento contra la carrocería, los ventiladores HVAC en funcionamiento, etc.
- **Mecánico:** La fricción de frenos, el funcionamiento del motor, contacto de los neumáticos con la carretera, la suspensión en funcionamiento con terreno irregular, etc.
- **Eléctrico:** Luces de alertas al conductor, inversores en coches eléctricos, cierre centralizado, sistema de alarma, etc.

#### *2.1.1.5. Funcionamiento Noise Vibration Harshness (NVH)*

La capacidad de poder identificar sonidos provenientes de fuentes como el motor, los frenos, la carrocería y el interior es primordial para los ingenieros tener una imagen de audio completa del vehículo, una vez podemos identificar la fuentes de un sonido en particular, es cuando podemos determinar las técnicas adecuadas para disminuir el control de sonido, como sustituir las propiedades de los materiales, cambiar los flujos de interacción, modificar las dimensiones del diseño o instalar barreras de sonido en el automóvil. (Hardik Shah 2023).



**Ilustración 2-1:** Ondas de ruido y vibración en la cabina de un automóvil

Fuente: Hardik Shah, 2023.

Los sonidos provocados por los rechinos de los neumáticos, aullidos del viento contra el vidrio o la carrocería, los rechinos de limpiaparabrisas, etc. En los automóviles podemos encontrar varias fuentes que generan sonidos que pueden ser detectados tanto auditivamente como visualmente o con el tacto. Un análisis NVH puede ayudar a reducir o eliminar condiciones indeseables que pueden afectar las condiciones de conducción y experiencia de los pasajeros, para poder optimizar el sonido según los criterios requeridos, los ingenieros pueden utilizar soluciones acústicas para simular el ruido de los vehículos en varios niveles de diseño (Hardik Shah 2023).

El funcionamiento de la metodología NVH en la industria automotriz representa un avance crucial en la ingeniería de vehículos, proporcionando a los ingenieros las herramientas y técnicas necesarias para identificar y analizar detalladamente las fuentes de ruido y vibración. La metodología NVH desempeña un papel integral en la industria automotriz al evaluar y mejorar la calidad acústica y la comodidad de los vehículos. El enfoque se basa en software avanzado que permite modelar, analizar y optimizar el ruido y vibración en el diseño, desde las etapas iniciales hasta las pruebas finales y la validación de prototipos. En este contexto, el software CAD (Computer-Aided Design) y el software CAE (Computer-Aided Engineering) son herramientas esenciales utilizadas en el diseño y desarrollo de productos, incluyendo partes automotrices.

#### 2.1.1.6. *Software CAD (Diseño Asistido por Computadora) para la metodología NVH*

- **AutoCAD:** Utilizado en arquitectura, ingeniería y diseño industrial, AutoCAD es esencial para crear dibujos técnicos en 2D y 3D. Ofrece herramientas de dibujo preciso, dimensionamiento y anotaciones, y es clave para el desarrollo de planos de construcción y diseños de productos.

- **CATIA:** Utilizado en industrias aeroespacial y automotriz, CATIA sobresale en diseño 3D, análisis y simulación. Facilita el manejo de diseños complejos y la colaboración en tiempo real, siendo ideal para modelos detallados de aeronaves y vehículos.
- **SolidWorks:** Predominante en ingeniería mecánica y diseño de productos, SolidWorks facilita la creación de piezas y ensamblajes en 3D. Destaca por su interfaz intuitiva y funcionalidades como simulación de movimientos y análisis de tensiones.
- **NX (antes Unigraphics):** Empleado en diversas industrias, NX ofrece diseño, simulación y fabricación avanzados. Es reconocido por su robustez e integración de diferentes aspectos del diseño y manufactura, siendo clave para la ingeniería de precisión.
- **Creo (antes Pro/ENGINEER):** Un software CAD 3D paramétrico para diseño de productos y fabricación. Permite crear modelos paramétricos precisos e incluye módulos para diseño de piezas, simulación y fabricación aditiva, esencial en el desarrollo de productos complejos.

**Tabla 2-1:** Ventajas y Desventajas CAD.

Software	Ventajas	Desventajas
<b>AutoCAD</b>	- Ampliamente utilizado en arquitectura e ingeniería.	- Costo de licencias puede ser elevado.
	- Versatilidad para dibujos 2D y 3D.	- Curva de aprendizaje empinada para usuarios nuevos en CAD 3D.
	- Capacidad de edición precisa.	
	- Funciones avanzadas de anotación.	
	- Gran comunidad de usuarios.	
<b>CATIA</b>	- Ideal para diseños complejos en industria aeroespacial y automotriz.	- Requiere hardware de alto rendimiento, lo que puede ser costoso.
	- Colaboración en tiempo real.	- Licencias específicas para funciones avanzadas aumentan el costo total.
	- Integración completa CAD/CAE.	- Curva de aprendizaje para aprovechar al máximo sus capacidades.
	- Herramientas avanzadas para modelado 3D.	
	- Amplia gama de módulos para diversas aplicaciones.	
<b>SolidWorks</b>	- Interfaz intuitiva y fácil de aprender.	- Limitado en su aplicabilidad fuera de la ingeniería mecánica y diseño de productos.
	- Simulación de movimiento y análisis de tensiones.	- Costo adicional para licencias de módulos adicionales.
	- Amplia comunidad de usuarios.	

	- Detección de colisiones.	
	- Biblioteca de componentes estándar.	
<b>NX (Unigraphics)</b>	- Integración CAD/CAE completa.	- Licencias costosas, lo que puede ser una barrera para pequeñas empresas.
	- Modelado paramétrico robusto.	- Curva de aprendizaje para usuarios principiantes en CAD 3D.
	- Ampliamente aplicable en diversas industrias.	
	- Modelado de superficies complejas.	
	- Herramientas de fabricación y programación CNC.	
<b>Creo (Pro/ENGINEER)</b>	- Modelado paramétrico que captura la intención de diseño.	- Interfaz compleja para usuarios principiantes en CAD.
	- Módulos disponibles para diversas aplicaciones.	- Costo elevado, especialmente para funciones avanzadas y módulos adicionales.
	- Historial de diseño completo.	
	- Colaboración eficiente en entornos multidisciplinarios.	

Realizado por Caiza B; Salazar D., 2024.

#### 2.1.1.7. Software CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) para la metodología NVH

- ANSYS: Software CAE para simulaciones detalladas en ingeniería, incluyendo análisis estructurales, térmicos, de fluidos y electromagnéticos. Permite a los ingenieros evaluar el comportamiento de productos y sistemas bajo diversas condiciones, siendo fundamental para la optimización de diseños y toma de decisiones informadas.
- Abaqus: Software FEA para análisis avanzados, utilizado en diversas industrias. Es clave para evaluar comportamientos de estructuras y componentes bajo diferentes cargas, aplicable desde ingeniería civil hasta biomecánica para simulaciones de alta precisión y modelado de comportamientos materiales complejos.
- Nastran: Plataforma FEA para simulaciones de ingeniería, con capacidades en análisis estructurales y de vibraciones. Utilizado en industrias como aeroespacial, automotriz y manufactura, es valorado por su robustez y versatilidad en abordar una variedad de desafíos de diseño y análisis.
- LS-DYNA: Software especializado en análisis de impacto y dinámica, crucial en industrias automotriz y aeroespacial. Indispensable para simular colisiones, impactos y comportamiento dinámico de materiales y estructuras, es esencial en pruebas de seguridad y diseño de materiales para situaciones de alta complejidad.

- Simulia (parte de Dassault Systèmes): Ofrece soluciones avanzadas de simulación realista. Su capacidad para simular comportamientos físicos reales en productos y sistemas lo hace valioso en industrias como automotriz, aeroespacial y bioingeniería, clave en la innovación y desarrollo de productos mediante la exploración y validación de diseños en entornos virtuales realistas.

**Tabla 2-2:** Ventajas y Desventajas CAE.

Software	Ventajas	Desventajas
ANSYS	- Ofrece análisis estructurales, térmicos, de fluidos y electromagnéticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere hardware potente para simulaciones complejas.</li> <li>- Costo de licencias puede ser elevado.</li> <li>- Curva de aprendizaje para usuarios nuevos en CAE.</li> <li>- Puede requerir capacitación adicional para aprovechar al máximo sus capacidades.</li> </ul>
	- Permite análisis detallados para optimización de diseños.	
	- Ampliamente utilizado en ingeniería para simulaciones avanzadas.	
	- Facilita la toma de decisiones informadas en diseño y análisis.	
Abaqus	- Especializado en análisis de elementos finitos (FEA) para simulaciones avanzadas.	
	- Ampliamente aplicable en diversas industrias, desde ingeniería civil hasta biomecánica.	
	- Capacidad para modelar comportamientos materiales complejos.	
	- Permite evaluar el comportamiento de estructuras y componentes bajo cargas específicas.	
Nastran	- Ampliamente aplicable en simulaciones de ingeniería, incluyendo análisis estructurales y de vibraciones.	
	- Valorado por su robustez y versatilidad en diversas aplicaciones.	
	- Facilita la simulación de situaciones de ingeniería complejas.	
	- Ampliamente utilizado en la industria aeroespacial, automotriz y manufactura.	
LS-DYNA	- Especializado en análisis de impacto y dinámica.	
	- Ampliamente utilizado en la industria automotriz y aeroespacial.	
	- Capacidad para simular colisiones, impactos y comportamiento dinámico.	

	- Indispensable en pruebas de seguridad y diseño de materiales.	
Simulia	- Proporciona soluciones de simulación realista.	
	- Capacidad para simular comportamiento físico real en productos y sistemas.	
	- Utilizado en diversas industrias, incluyendo la automotriz y aeroespacial.	
	- Valioso en la innovación y desarrollo de productos.	

Realizado por Caiza B; Salazar D., 2024.

## 2.1.2. Ruido

### 2.1.2.1. Fundamentos del Ruido en Automoción

El ruido percibido normalmente significaba sonido no deseado y en los primeros días de la industria del audio no era un factor muy importante para los diseñadores de partes automotrices y de automóviles. En la actualidad los cambios que se realizan en los diseños, los tratamientos que se realizan intentan prevenirlo o al menos intentar reducirlo. (Sanz Vila 2013).

El ruido producido por la transmisión causada por objetos específicos, como el zumbido de un techo corredizo al abrirse, el sonido de un motor, el sonido de una puerta cerrándose o el clic de la hebilla del cinturón de seguridad se puede considerar ruidos no deseados que se los percibe en la cabina. (Hardik Shah 2023).

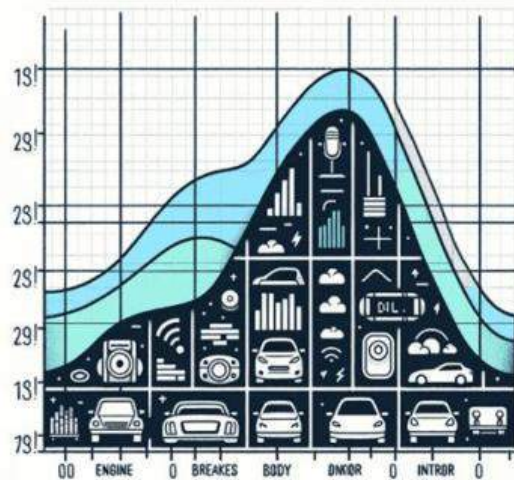
Algunas características del ruido en la industria automotriz son:

- Se sienten diferentes cambios en el nivel del sonido en el oído.
- Los diferentes sonidos se caracterizan por frecuencia, nivel y calidad.
- Puede ser no deseado (ruido del aire).
- Otras veces puede ser un valor añadido (sonido de motor potente).

La dualidad en la percepción del ruido lleva a los diseñadores y fabricantes de automóviles a un reto interesante, por un lado, deben minimizar los ruidos molestos y perturbadores, como el zumbido aerodinámico o el ruido de la carretera, que pueden ser intrusivos para los ocupantes del vehículo. Por otro lado, deben mantener o incluso realzar aquellos sonidos que son considerados placenteros o que añaden al carácter del vehículo, como el sonido distintivo de un motor de alto rendimiento. Requiere un equilibrio cuidadoso y una comprensión profunda de cómo los diferentes sonidos son percibidos y valorados por los conductores y pasajeros (Peng et al. 2019).



La gestión del ruido en la industria automotriz ha pasado de ser un aspecto secundario a ser un componente crítico en el diseño y fabricación de vehículos, el reto para los fabricantes y diseñadores de vehículos no es solo reducir los niveles de ruido, sino también gestionar la calidad del sonido de manera que mejore la experiencia de conducción (Kapoor et al. 2021). El cambio refleja un enfoque más holístico en el diseño automotriz, donde la comodidad acústica y la calidad del sonido se consideran tan importantes como la funcionalidad mecánica y la eficiencia energética. La evolución en la percepción y el tratamiento del ruido en la industria automotriz subraya el compromiso continuo con la innovación y la mejora de la experiencia del usuario, asegurando que los vehículos del futuro no solo sean más silenciosos, sino también más agradables de conducir y experimentar (Sonnad 2023).



**Ilustración 2-2:** Niveles de ruido en el vehículo.

Fuente: Wiwoho 2019.

El gráfico ilustra los niveles de ruido en diferentes partes de un automóvil, medidos en decibelios, es común en el análisis de Noise Vibration Harshness (NVH) en la industria automotriz. Cada sección del gráfico está dedicada a una fuente específica de ruido en el vehículo, como el motor, los frenos, la carrocería y el interior.

- Motor: Esta sección muestra el nivel de ruido generado por el motor del vehículo. Los niveles de ruido del motor pueden variar dependiendo de factores como el tipo de motor, su diseño y cómo está aislado del habitáculo.
- Frenos: Aquí se visualiza el ruido producido por el sistema de frenos. Este ruido puede incluir sonidos como el rechinar de las pastillas de freno o el zumbido de los discos al frenar.
- Carrocería: Esta parte del gráfico indica el nivel de ruido asociado con la carrocería del vehículo, que puede incluir ruido aerodinámico, vibraciones de los paneles de la carrocería y otros sonidos relacionados con la estructura física del vehículo.

- Interior: Representa el ruido percibido dentro de la cabina del vehículo. Este puede ser un compendio de varios ruidos, incluyendo los del motor, los frenos, la carrocería, así como ruidos del sistema de ventilación, vibraciones de los asientos y otros componentes internos.

### 2.1.2.2. Escalas de Tolerancia para el Ruido

#### Niveles de Decibelios (dB)

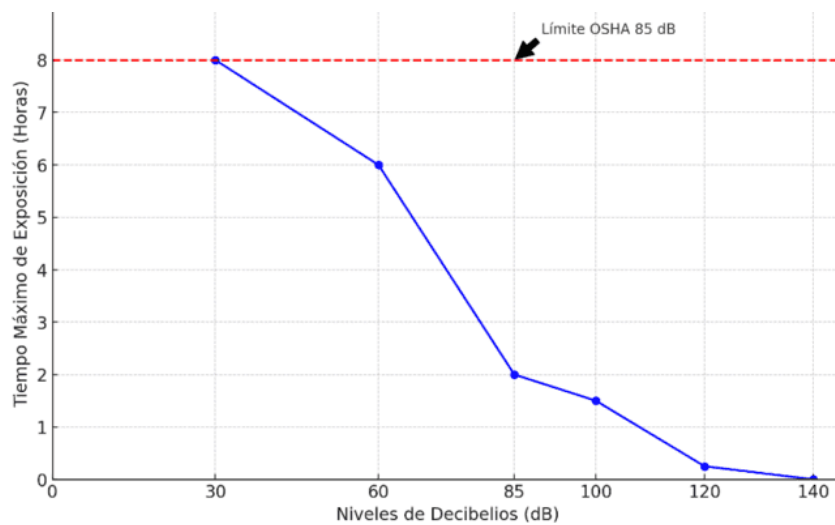
Los niveles de ruido se miden en decibelios. La exposición prolongada a ruidos por encima de 85 dB puede ser perjudicial. La escala varía desde sonidos apenas audibles hasta niveles que pueden causar daño inmediato al oído.

#### Tiempo de Exposición

La tolerancia también depende del tiempo de exposición. Mientras que una exposición breve a 100 dB puede ser tolerable, una exposición prolongada a este nivel puede ser dañina.

#### Normativas de Seguridad

Organizaciones como la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) en EE. UU, establecen límites para la exposición laboral al ruido, generalmente alrededor de 85 dB para un turno de 8 horas.



**Ilustración 2-3:** Escala de tolerancia para el ruido

Fuente: Nishinaka y Matsuoka 2019.

### 2.1.2.3. Límites de Tolerancia para el Ruido

#### Nivel de Decibelios (dB) para Exposición Prolongada:

- Máximo Recomendado: El límite de 85 dB es ampliamente reconocido para una jornada laboral estándar de 8 horas. Este límite se basa en la investigación que demuestra que la

exposición regular y prolongada a niveles de ruido por encima de este umbral aumenta significativamente el riesgo de pérdida auditiva inducida por el ruido. En el diseño automotriz, este límite es crucial no solo en la fabricación sino también en la operación del vehículo, para proteger tanto a los trabajadores como a los usuarios.

**Picos de Ruido:**

- **Límite Máximo Instantáneo:** El umbral de dolor, establecido en 140 dB, es el nivel en el que el ruido puede causar daño inmediato y dolor en el oído humano. Este nivel es particularmente relevante en entornos industriales donde pueden ocurrir ruidos de impacto o explosiones, y se debe evitar en el diseño de vehículos, especialmente en aspectos como el cierre de puertas y el rendimiento del motor.

**Ruido en Vehículos:**

- **En Cabina:** Mantener los niveles de ruido dentro de la cabina por debajo de 70 dB durante la operación normal es fundamental para la comodidad de los pasajeros. Este límite considera factores como el ruido del motor, la aerodinámica del vehículo y la interacción entre los neumáticos y la carretera. Lograr esto requiere un diseño meticuloso de aislamiento acústico y la optimización de componentes automotrices para minimizar la transmisión de ruido.

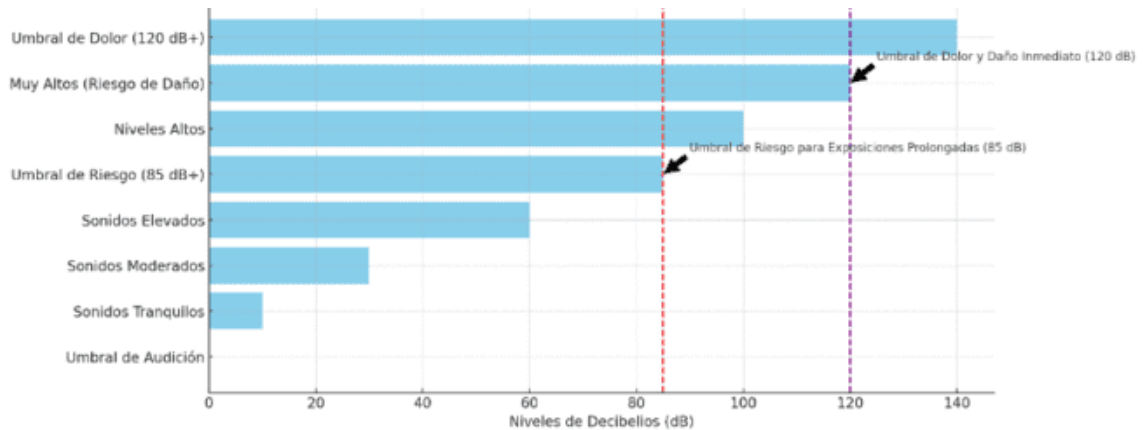
*2.1.2.4. Efectos de Superar los Límites de Ruido*

**Por encima de 85 dB en exposiciones prolongadas:**

- **Pérdida Auditiva Inducida por el Ruido:** Exposiciones regulares por encima de este nivel pueden causar daño permanente al oído interno, resultando en una pérdida auditiva gradual.
- **Estrés y Fatiga:** El ruido excesivo puede causar fatiga auditiva y estrés, lo cual disminuye la capacidad de concentración y aumenta el riesgo de accidentes laborales.
- **Problemas de Comunicación:** En un entorno ruidoso, la comunicación efectiva se vuelve difícil, aumentando el riesgo de malentendidos y errores.

**Picos de Ruido por encima de 140 dB:**

- **Daño Auditivo Inmediato:** Niveles de ruido superiores a 140 dB pueden causar dolor y daño auditivo inmediato, incluyendo la pérdida temporal o permanente de la audición.
- **Trauma Acústico:** Ruidos extremadamente altos pueden causar trauma acústico, afectando no solo la audición sino también el equilibrio.



**Ilustración 2-4:** Escala de decibeles y niveles de ruido.

Fuente: Kapoor et al. 2021.

### 2.1.2.5. Evaluación y Medición del Ruido en Vehículos

La medición del ruido en vehículos se realiza con instrumentos especializados como micrófonos y acelerómetros, fundamentales para identificar las fuentes de ruido y determinar su intensidad (Harris, Langlois y Gale 2019). Las pruebas en túneles de viento y en pistas de prueba permiten evaluar el ruido aerodinámico y de rodadura en condiciones controladas, permitiendo así un análisis preciso y detallado no solo para cumplir con las normativas ambientales, sino también para mejorar la calidad acústica del vehículo (Karlsson 2018). A través de estas pruebas, los fabricantes pueden identificar áreas que requieren mejoras y desarrollar soluciones de diseño y materiales más eficaces para la reducción del ruido, lo que resulta en vehículos más silenciosos y confortables. La medición del ruido también ayuda en el proceso de certificación del vehículo, asegurando que cumpla con los estándares de emisión de ruido establecidos por las autoridades reguladoras.

### 2.1.2.6. Métodos de Medición de Ruido Instrumentación y Técnicas

#### **Análisis de Espectro de Ruido y Su Interpretación**

El análisis espectral del ruido vehicular es una técnica clave para descomponer el ruido en sus componentes de frecuencia, lo que permite identificar fuentes específicas y evaluar su contribución al ruido total, permite diseñar estrategias efectivas de reducción de ruido (Sahu, Emadi y Bilgin 2023). Si se identifica una frecuencia particular del motor como especialmente molesta, los ingenieros pueden trabajar en modificar el diseño del motor o en incorporar materiales aislantes que atenúen específicamente esa frecuencia (Chen et al. 2021). El enfoque detallado ayuda a los fabricantes a dirigir sus esfuerzos de manera eficiente, enfocándose en las fuentes de ruido más críticas y mejorando la experiencia acústica global del vehículo, al igual que, el análisis espectral

es fundamental en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para el aislamiento acústico, permitiendo a los ingenieros probar y validar sus innovaciones en entornos controlados antes de su implementación en vehículos de producción.

### **Normativas y Estándares de Emisión de Ruido**

Las regulaciones sobre emisión de ruido, establecidas por organismos como la Unión Europea y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, definen límites máximos para los niveles de ruido vehicular y son esenciales para proteger el medio ambiente y la salud pública, y requieren que los fabricantes de automóviles cumplan con límites específicos de ruido (Bizkaia, Tecnalía y Ekoiure 2018). El cumplimiento de estas normativas ha llevado a una innovación significativa en el diseño y los materiales utilizados en la construcción de vehículos, con el objetivo de reducir el ruido, asimismo han impulsado el desarrollo de tecnologías más silenciosas y han motivado a los fabricantes a prestar más atención a la experiencia acústica dentro del vehículo. La adherencia a estas normativas no solo es un requisito legal, sino que también se ha convertido en un punto de venta importante para los consumidores, que buscan vehículos más silenciosos y cómodos.

#### *2.1.2.7. Técnicas de Reducción y Control de Ruido*

### **Diseño de Sistemas de Escape y Silenciadores**

El diseño avanzado de sistemas de escape y silenciadores es crucial en la reducción del ruido de escape, las innovaciones en estos sistemas no solo reducen el ruido, sino que también pueden mejorar la eficiencia del vehículo y reducir las emisiones (Hua, Thomas y Shultis 2021). El desarrollo de silenciadores más efectivos y sistemas de escape con mejor aislamiento acústico es un área activa de investigación y desarrollo en la industria automotriz. Estos sistemas están diseñados para minimizar la resonancia y maximizar la atenuación del ruido, utilizando materiales avanzados y diseños innovadores, los fabricantes están explorando tecnologías alternativas como sistemas de escape eléctricos para vehículos híbridos y eléctricos, que presentan desafíos y oportunidades únicas en el control del ruido (Holehouse et al. 2019).

### **2.1.3. Vibración**

La vibración se considera como un movimiento oscilante alrededor de un punto de referencia que se produce a una frecuencia determinada. En un automóvil, se producen vibraciones las cuales se pueden sentir a diferentes velocidades a través del volante, el asiento, los apoyabrazos, el piso y los pedales, el movimiento oscilante puede ser detectado por el cuerpo humano, debido a que se propaga a través de la estructura o chasis. Principalmente se genera en el rango entre 0,5 Hz - 50

Hz, lo que está dentro del rango que soporta el oído humano, algunas de las partes sensibles que son más sensibles a producir vibraciones y sonido son: la columna de dirección, soporte de los asientos, reposapiés, y espejos considerados vibraciones visibles. (Sanz Vila 2013).

En el desarrollo de vehículos eléctricos, la gestión de vibraciones es crucial debido a que la ausencia de ruido de un motor de combustión interna hace que las vibraciones sean más perceptibles y molestas (Qin et al. 2020). Los fabricantes están intensificando la investigación y desarrollo para mejorar la absorción de vibraciones y la aislación acústica en estos vehículos (Zhao y Wang 2019). Esto incluye la exploración de materiales y diseños innovadores para atenuar la transmisión de vibraciones, como el desarrollo de chasis y carrocerías más rígidos y el uso de materiales compuestos avanzados para amortiguar vibraciones. Además, se está trabajando en sistemas de suspensión activa y pasiva que se ajustan en tiempo real para mejorar la calidad del viaje y la experiencia de conducción (Abdelkareem et al. 2018). Estas innovaciones no solo apuntan a aumentar la comodidad, sino también a preservar la integridad estructural del vehículo y prolongar la vida útil de sus componentes.

Por otro lado, controlar la vibración en automóviles es esencial para la comodidad y seguridad del conductor y los pasajeros, ya que las vibraciones excesivas pueden causar fatiga, especialmente en viajes largos, afectando la calidad de la experiencia de conducción (Han et al. 2022). Los ingenieros automotrices están enfocados en mejorar sistemas de suspensión, montajes de motor y diseño de interiores para mitigar la transmisión de vibraciones y mantenerlas en niveles aceptables (Masa'id et al. 2023). Además, se considera la optimización de la aerodinámica del vehículo y la mejora de neumáticos y ruedas, fundamentales en la generación y control de vibraciones. Este enfoque integral busca un equilibrio entre ingeniería avanzada, diseño innovador y comprensión de la ergonomía y comodidad del usuario.

#### *2.1.3.1. Tipos de Vibración en Vehículos*

##### **Vibraciones del Motor y Tren Motriz**

Las vibraciones del motor y tren motriz son un problema común en vehículos, variando con el tipo y estado del motor, a menudo causadas por desequilibrios en las partes rotativas o desgaste de componentes, pueden ser perceptibles en el volante, el piso o los pedales (Awang, Jeffree y Rampal 2019). Afectan directamente el rendimiento y la comodidad de conducción, y su gestión es crucial para el confort y la longevidad de los componentes del vehículo. La detección temprana y el mantenimiento adecuado son esenciales para minimizar estas vibraciones y mantener la eficiencia del vehículo.

### **Vibraciones Debidas a la Aerodinámica**

Las vibraciones aerodinámicas, causadas por el flujo de aire alrededor del vehículo a altas velocidades, pueden ser exacerbadas por diseños de carrocería ineficientes o accesorios externos (Li y Huang 2018). Estas vibraciones, aunque menos comunes, contribuyen a una experiencia de conducción menos placentera y aumentan el ruido dentro del vehículo. La optimización aerodinámica en el diseño del vehículo es fundamental para reducir estas vibraciones, mejorando así la calidad de conducción y el confort.

### **Vibraciones de la Suspensión y Ruedas**

Originadas por irregularidades en la carretera y la interacción entre la suspensión y las ruedas, estas vibraciones afectan directamente la comodidad de conducción pueden indicar problemas en la suspensión o el desbalance de las ruedas (Venczel, Veress y Peredy 2022). Son notables en el asiento y el volante y pueden ser un indicador temprano de necesidad de mantenimiento. La atención a la calidad de la suspensión y el balanceo adecuado de las ruedas es crucial para minimizar estas vibraciones.

#### *2.1.3.2. Diagnóstico y Medición de Vibraciones*

### **Técnicas de Monitoreo de Vibraciones**

Para el monitoreo de vibraciones en vehículos, se utilizan técnicas avanzadas y herramientas como acelerómetros y sensores de vibración, que detectan y cuantifican las vibraciones, identificando su origen y gravedad (Mendes et al. 2021). El diagnóstico es esencial para mantener la integridad y el confort del vehículo, permitiendo intervenciones oportunas para evitar daños mayores o un desgaste acelerado.

### **Análisis de Frecuencia y Amplitud de Vibraciones**

El análisis de la frecuencia y amplitud de las vibraciones proporciona una comprensión detallada de sus causas y efectos, al identificar las frecuencias específicas que causan problemas permite a los ingenieros desarrollar soluciones más efectivas, como ajustar o reemplazar componentes específicos (Indika et al. 2018). Este análisis es clave en el diseño y prueba de vehículos nuevos y componentes, ayudando a optimizar la experiencia de conducción desde el inicio.

### **Uso de Sensores y Equipos de Diagnóstico**

Los sensores y equipos de diagnóstico avanzados son herramientas cruciales en la identificación y análisis de vibraciones, proporcionan datos detallados sobre la naturaleza de las vibraciones, facilitando el proceso de solución de problemas y la toma de decisiones para reparaciones o mejoras (Atindana et al. 2023). Los equipos son particularmente útiles en la detección temprana de

problemas que pueden no ser perceptibles inicialmente pero que pueden afectar significativamente la longevidad y el rendimiento del vehículo.

### *2.1.3.3. Impacto de las Vibraciones en la Salud y la Seguridad*

La metodología NVH pone un énfasis particular en los efectos de las vibraciones en la salud y comodidad de los ocupantes del vehículo, se reconoce que las vibraciones continuas, especialmente aquellas en ciertas frecuencias, pueden tener efectos negativos como aumentar el estrés, causar fatiga y, en casos extremos, llevar a problemas musculoesqueléticos (Masa'id et al. 2023). Por ello, se busca reducir estas vibraciones a niveles que sean ergonómicamente seguros y confortables, lo que implica no solo atender las vibraciones más evidentes, sino también aquellas sutiles que, aunque menos perceptibles, pueden tener un impacto acumulativo sobre el bienestar de los ocupantes a largo plazo. La metodología NVH aborda estos desafíos mediante un enfoque integral que considera todos los aspectos del diseño del vehículo, desde la selección de materiales hasta la configuración de la suspensión y el aislamiento acústico.

#### **Escala de Tolerancia para Vibraciones**

Las escalas de tolerancia para vibraciones se basan en dos parámetros principales: la aceleración de las vibraciones y la frecuencia a la que estas ocurren. Estos parámetros están directamente relacionados con los efectos que las vibraciones pueden tener en el cuerpo humano. A continuación, se detallan los límites y valores de acción establecidos por la Directiva Europea 2002/44/EC, que son representativos de las escalas de tolerancia para vibraciones:

#### **Vibraciones Transmitidas al Cuerpo Entero:**

- Valor de Acción de 0.5 m/s<sup>2</sup>: Este valor señala la intensidad de vibración donde deben iniciarse las acciones preventivas. Al superar este nivel, las empresas deben evaluar y, si es necesario, reducir la exposición. Esto es crítico dado que vibraciones por encima de 0.5 m/s<sup>2</sup>, particularmente las de baja frecuencia menores a 1 Hz, pueden resultar en molestias significativas y potencialmente en problemas de salud a largo plazo, como daño a la columna vertebral y a órganos internos.
- Límite de Exposición de 1.15 m/s<sup>2</sup>: Representa el máximo nivel de vibración permitido para una jornada laboral completa. La exposición constante y repetida por encima de este límite puede acarrear serios problemas de salud, incluyendo lesiones musculoesqueléticas y trastornos del sistema digestivo.

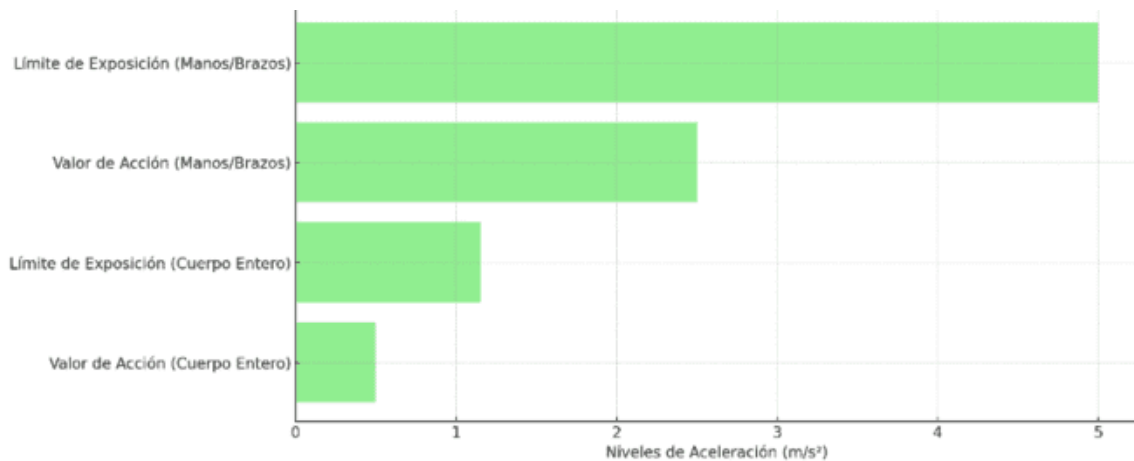


### Vibraciones Transmitidas a las Manos y Brazos:

- Valor de Acción de 2.5 m/s<sup>2</sup>: Este umbral obliga a tomar medidas cuando se trabaja con herramientas que generan vibraciones de alta frecuencia, en el rango de 20 a 1000 Hz. Superar esta aceleración puede conducir al desarrollo de trastornos musculoesqueléticos, como el síndrome del túnel carpiano y el fenómeno de Raynaud (dedos blancos), que afectan la funcionalidad de las manos y los brazos.
- Límite de Exposición de 5 m/s<sup>2</sup>: Este límite es la aceleración máxima permitida que los trabajadores pueden experimentar durante su jornada. Las vibraciones que exceden este nivel pueden causar daños neurovasculares y lesiones en los tejidos blandos, lo que resulta en una disminución de la destreza manual y fuerza de agarre.

### Vibraciones en Vehículos:

- Comodidad del Pasajero: Controlar las vibraciones dentro de la cabina del vehículo es esencial para la comodidad y la seguridad. Esto se logra a través del diseño refinado de los componentes del tren motriz, la suspensión y la estructura del vehículo, manteniendo las vibraciones en el rango de 20-200 Hz lo más bajas posible, idealmente por debajo de 0.2 m/s<sup>2</sup>. La atención a las vibraciones también es fundamental para prevenir la fatiga del material y garantizar la durabilidad del vehículo.



**Ilustración 2-5:** Escala de vibraciones y límites de exposición

**Fuente:** Armentani et al. 2020.

#### 2.1.3.4. Efectos de Superar los Límites de Vibraciones

Las vibraciones continuas en un vehículo pueden tener efectos negativos en la salud y el bienestar de los conductores y pasajeros, incluyendo el aumento del estrés, la fatiga y problemas musculoesqueléticos (Li y Huang 2018). Una gestión efectiva de estas vibraciones es crucial para

garantizar una experiencia de conducción segura y cómoda, los fabricantes de vehículos están cada vez más enfocados en reducir estas vibraciones a niveles que sean ergonómicamente seguros y confortables, empleando diversas tecnologías y diseños para lograrlo.

*Vibraciones de Baja Frecuencia (menores a 1 Hz) por encima de 0.5 m/s<sup>2</sup>:*

- Malestar y Enfermedad del Movimiento: Pueden causar incomodidad significativa y síntomas como mareos, náuseas y enfermedad del movimiento.
- Efectos en la Salud a Largo Plazo: Exposiciones prolongadas a estas vibraciones pueden tener efectos adversos en la columna vertebral y otros órganos internos.

*Vibraciones de Alta Frecuencia (20-1000 Hz) por encima de 2.5 m/s<sup>2</sup>:*

- Trastornos Musculoesqueléticos: La exposición prolongada a altas vibraciones, especialmente en las manos y brazos, puede causar condiciones como el síndrome del túnel carpiano, el síndrome de vibración mano-brazo y otros trastornos musculoesqueléticos.
- Daño Nervioso y Circulatorio: Puede afectar la circulación sanguínea y causar daño en los nervios y tejidos blandos.

**Vibraciones en Vehículos por encima de 0.2 m/s<sup>2</sup> en el rango de 20-200 Hz:**

- Disminución del Confort del Pasajero: Vibraciones perceptibles pueden reducir significativamente el confort durante la conducción o el viaje.
- Fatiga del Material y Fallo Estructural: Vibraciones constantes y no controladas pueden llevar a la fatiga del material y potencialmente a fallos estructurales en partes críticas del vehículo.

#### **2.1.4. Asperezas**

La aspereza en partes automotrices, que incluye la irregularidad en superficies de componentes como engranajes y ejes, es un factor clave que afecta las características de NVH (Noise, Vibration, Harshness) en vehículos (Rapino et al. 2023). La medición precisa de la aspereza, realizada con instrumentos como rugosímetros, es esencial para que los ingenieros puedan optimizar estas superficies y mejorar el rendimiento NVH (Bennouna 2022). Reducir la aspereza no solo mejora la calidad acústica y la comodidad, sino que también aumenta la eficiencia del vehículo al reducir la fricción y el consumo de combustible, y disminuir el desgaste, prolongando así la vida útil de las piezas. En la industria automotriz, especialmente en la era de los vehículos eléctricos y autónomos, encontrar el balance adecuado entre la durabilidad de los materiales y la minimización de la aspereza representa un desafío significativo, dada la importancia crítica del NVH en la experiencia de conducción.

La gestión efectiva de la aspereza en componentes automotrices es un desafío que requiere un enfoque multidisciplinario, implica la colaboración entre diseñadores, ingenieros de materiales y especialistas en NVH para garantizar que todas las superficies cumplan con los requisitos específicos (Souri 2021). Las tecnologías modernas como la impresión 3D y los tratamientos superficiales avanzados ofrecen nuevas oportunidades para controlar la aspereza a niveles microscópicos, permitiendo una personalización sin precedentes y una mejora en el rendimiento de NVH (Bewilogua et al. 2009). Además, la aspereza no solo afecta el rendimiento del vehículo, sino también su estética y percepción de calidad. Un acabado superficial óptimo puede mejorar significativamente la apariencia del vehículo, lo que es crucial en un mercado altamente competitivo. La investigación continua en este campo está llevando a la innovación en materiales y procesos de manufactura, con un enfoque creciente en la sostenibilidad y la reducción de impacto ambiental.

Las superficies ásperas pueden aumentar la fricción y generar vibraciones no deseadas, lo que contribuye a un incremento en los niveles de NVH, que puede deteriorar la experiencia de conducción, resultando en un confort reducido y una percepción de baja calidad para el usuario (Moulin et al. 2006). La medición precisa de la aspereza es, por tanto, un aspecto crítico en el desarrollo y la fabricación de componentes automotrices, el uso de herramientas como rugosímetros permite evaluar con precisión la textura de las superficies y garantizar que cumplan con los estándares de calidad exigidos.

#### *2.1.4.1. Medición de Asperezas*

Para controlar la aspereza, es esencial su medición precisa, realizada a menudo con herramientas especializadas como rugosímetros, que proporcionan una evaluación detallada de la topografía superficial, permitiendo a los ingenieros determinar si una parte cumple con los estándares de calidad requeridos (Drégelyi y Czifra 2014). Las mediciones son críticas no solo en la etapa de desarrollo del producto, sino también durante la producción y el control de calidad, asegurando que cada componente fabricado cumpla con las especificaciones de diseño, al mantener la aspereza dentro de los parámetros establecidos, se puede garantizar una mayor consistencia y fiabilidad en el rendimiento de las partes automotrices.

La escala de rugosidad superficial se expresa generalmente en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) o micro pulgadas ( $\mu\text{in}$ ) (Palanivendhan et al. 2021). Cuanto mayor sea el valor Ra, mayor será la aspereza de la superficie.

Valor de Rugosidad Media Ra (um)	Clase de Rugosidad	Clase de Superficie	Calidad de superficie
50	N12	Sin rebabas. Limpio y preparado para desbastado	Baja
25	N11		Regular
12,5	N10	Desbastado. Estrías visibles y perceptibles al tacto	Media
6,3	N9		Buena
3,2	N8	Afinado. Estrías visibles pero no perceptibles al tacto	Buena
1,6	N7		Muy buena
0,8	N6	Refinado. Estrías no visibles pero no perceptibles al tacto	Muy buena
0,4	N5		Máxima
0,2	N4	Superrefinado	Máxima
0,1	N3		Máxima
0,05	N2		Especial
0,025	N1		Especial

**Ilustración 2-6:** Valores de rugosidad.

Fuente: (Guzmán 2024)

•**Ra (Promedio de la Rugosidad):** Este valor representa el promedio de las desviaciones absolutas de la línea de referencia que se traza a lo largo de la superficie. Un valor Ra más alto indica una superficie más áspera.

•**Rz (Altura Máxima de las Irregularidades):** Mide la altura máxima entre el pico más alto y el valle más bajo dentro de un área específica de la superficie. Es útil para identificar picos y valles extremos en la aspereza.

•**Rq (Raíz Cuadrada de la Media de los Cuadrados):** Este parámetro representa la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las desviaciones individuales. Es útil para evaluar la variabilidad de la rugosidad en toda la superficie.

•**Rp (Altura Promedio de los Picos):** Mide la altura promedio de los picos en la superficie. Es relevante para determinar la prominencia de las asperezas.

#### 2.1.4.2. Relación con Materiales

Los diferentes materiales utilizados en la fabricación de componentes automotrices tienen niveles inherentes de aspereza. Metales, plásticos, composites y otros materiales presentan distintos desafíos y características en términos de aspereza, la selección del material adecuado, teniendo en cuenta su aspereza natural y su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga y ambientales, es crucial (Grand View Research, 2023). Los ingenieros deben equilibrar estas consideraciones con otros factores como la resistencia, el peso y el costo, para seleccionar el material más adecuado para cada aplicación específica.

### *2.1.4.3. Aspereza en Componentes Internos*

La aspereza en los componentes internos, como los del motor y los sistemas de transmisión, afecta directamente su eficiencia y rendimiento. Una aspereza excesiva en estas áreas puede aumentar la resistencia interna y disminuir la eficiencia mecánica, lo que lleva a un mayor consumo de combustible y a una reducción del rendimiento general del vehículo, por otro lado, una superficie demasiado lisa puede no retener suficiente lubricante, lo que también puede conducir a problemas de desgaste y eficiencia, (Svahn, Kassman y Wallén, 2003). Por lo tanto, alcanzar el equilibrio adecuado en la aspereza es esencial para el rendimiento óptimo del motor y otros componentes internos.

### *2.1.5. Confort*

El confort del conductor y los pasajeros es un objetivo central en el análisis NVH en condiciones de conducción diversas. Además de considerar las vibraciones y el ruido, es esencial abordar otros aspectos relacionados con el confort. Las irregularidades en la carretera, como baches y baches, pueden generar movimientos no deseados en el vehículo, lo que afecta negativamente la comodidad de los ocupantes. Para mejorar esto, los ingenieros se centran en la suspensión y los sistemas de absorción de impactos, diseñando sistemas que se adapten a las diferentes condiciones de conducción. La ergonomía del vehículo también es fundamental, con el diseño de asientos y controles que minimizan la fatiga del conductor y mejoran la experiencia de conducción en viajes largos. En última instancia, el confort no solo es un elemento de lujo, sino que también tiene un impacto directo en la concentración del conductor y, por lo tanto, en la seguridad en la carretera. Por lo tanto, el análisis NVH debe abordar todas las facetas del confort para garantizar una experiencia de conducción agradable y segura en una variedad de condiciones de conducción.

### *2.1.6. Sistema de gases de escape*

#### *2.1.6.1. ¿Qué es el sistema de gases de escape?*

El sistema de escape en vehículos con motores de combustión interna es crucial tanto desde un punto de vista mecánico como ambiental. Se encarga de manejar y procesar los gases resultantes de la combustión, como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, entre otros, conduciéndolos fuera del vehículo y transformándolos en sustancias menos nocivas mediante el catalizador. Esta transformación es esencial para cumplir con las regulaciones medioambientales y mantener la calidad del aire. Además, un sistema de escape bien diseñado y mantenido mejora la eficiencia y potencia del motor, reduce el consumo de combustible y el ruido

del motor, siendo fundamental para la seguridad del vehículo, la eficiencia del motor y la protección del medio ambiente.

#### *2.1.6.2. Funcionamiento del Sistema de gases de escape*

El sistema de escape en vehículos con motor de combustión es vital para el manejo eficiente de los gases resultantes de la combustión, como dióxido de carbono y monóxido de carbono, desde su origen en los cilindros del motor hasta su expulsión. El sistema inicia con el colector de escape, que recoge y dirige los gases calientes y a presión hacia componentes adicionales, siendo crucial para el rendimiento del motor y el cumplimiento de normativas ambientales. Los gases pasan luego por el catalizador, donde metales preciosos los transforman en sustancias menos dañinas, reduciendo la contaminación. Finalmente, el silenciador atenúa el ruido generado por estos gases, equilibrando la reducción de ruido con un flujo eficiente de gases. Este sistema no solo impacta en el rendimiento del motor y la eficiencia del combustible, sino que también juega un rol clave en minimizar el impacto ambiental del vehículo.

#### *2.1.6.3. Partes del sistema de gases de escape*

##### **Colector de Escape**

Este componente es esencial en el sistema de escape. Diseñado específicamente para cada tipo de motor, su función primordial es recoger los gases de los múltiples cilindros y conducirlos en una corriente única hacia el sistema de escape. El diseño del colector afecta directamente el flujo de gases, influyendo así en el rendimiento del motor. Un colector eficiente asegura un flujo óptimo, lo que es crucial para mantener la eficiencia del motor y minimizar las emisiones. Además, debe resistir altas temperaturas y presiones, evitando fugas que afectarían el rendimiento y el medio ambiente. La calidad del material y la precisión en el diseño del colector son determinantes para el correcto funcionamiento del sistema.

##### **Catalizador**

Clave en la reducción de emisiones, el catalizador transforma gases tóxicos como el monóxido de carbono, los hidrocarburos no quemados y los óxidos de nitrógeno en sustancias menos nocivas. Su eficacia es esencial para cumplir con normativas ambientales. Los catalizadores modernos utilizan tecnologías avanzadas y materiales como el platino, paladio y rodio para facilitar estas reacciones químicas. La longevidad y eficiencia del catalizador son fundamentales para un sistema de escape sostenible y ecológicamente responsable. Su mantenimiento y eventual reemplazo son aspectos importantes en la gestión de emisiones del vehículo.

## **Silenciador**

El silenciador, un componente esencial del sistema de escape, está diseñado para atenuar el ruido generado por el flujo de gases de escape. Su funcionamiento se basa en un diseño acústico que incluye cámaras y tubos internos que absorben, reflejan y cancelan las ondas sonoras, reduciendo el ruido exterior. La construcción del silenciador varía según el tipo de vehículo y las preferencias de rendimiento y sonido, con algunos modelos enfocados en tonos de escape deportivos y otros en la máxima reducción de ruido. Los materiales del silenciador deben resistir altas temperaturas y condiciones corrosivas para asegurar durabilidad y eficacia. Un silenciador adecuadamente diseñado y construido no solo mejora la experiencia de conducción, sino que también es crucial para cumplir con las normativas de ruido ambiental.

## **Tubos de Escape**

Los tubos de escape son elementos fundamentales que conectan todas las partes del sistema de escape. Su función principal es dirigir los gases de escape desde el motor, a través del catalizador y el silenciador, hasta su salida final en la parte trasera o lateral del vehículo. La importancia de los tubos de escape radica en su capacidad para influir en la eficiencia del flujo de gases y, por ende, en el rendimiento general del motor y del sistema de escape. El diseño, la longitud y el diámetro de estos tubos deben ser cuidadosamente calculados para garantizar un flujo óptimo sin crear restricciones innecesarias o contrapresiones que podrían afectar adversamente el rendimiento del motor. La selección del material para los tubos de escape es igualmente importante; deben ser resistentes a las altas temperaturas y a la corrosión para asegurar una vida útil prolongada y un funcionamiento eficiente. Un sistema de tubos de escape bien diseñado contribuye significativamente a la eficiencia general del vehículo, optimizando el flujo de gases y minimizando las pérdidas de energía.

## **Resonador**

El resonador, a menudo utilizado en conjunto con el silenciador, tiene la tarea específica de ajustar y afinar el sonido del sistema de escape. Mientras que el silenciador se centra en reducir el volumen general del ruido, el resonador elimina frecuencias sonoras específicas o ruidos no deseados, como zumbidos o resonancias a ciertas velocidades. Es importante en vehículos donde el carácter del sonido de escape es una parte integral de la experiencia de conducción. El diseño y la ubicación del resonador dentro del sistema de escape son críticos para su efectividad; debe estar sincronizado cuidadosamente con el flujo de gases y las características acústicas del silenciador para lograr el equilibrio adecuado entre rendimiento acústico y eficiencia del sistema. Un resonador bien diseñado no solo mejora la calidad del sonido del escape, sino que también puede contribuir a la sensación general de rendimiento y carácter de un vehículo.

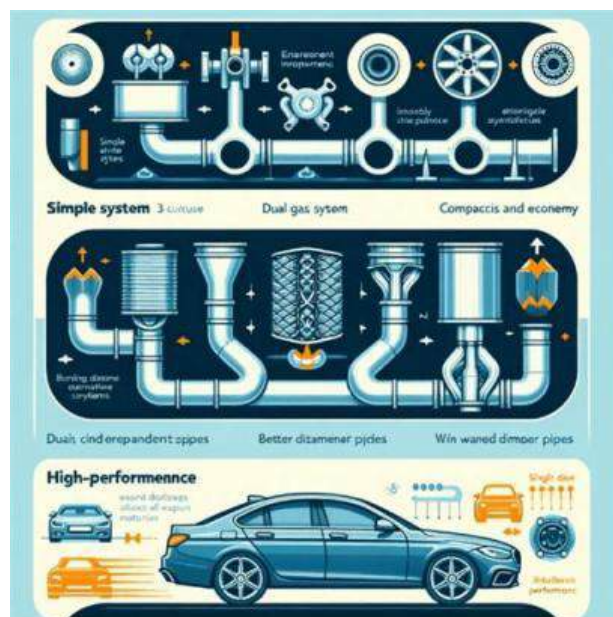




con tubos de escape visibles que se suelen usar como elemento de diseño distintivo en coches deportivos y de alto rendimiento.

### **Sistema de gases de escape de alto rendimiento**

Diseñados para vehículos que requieren el máximo rendimiento, estos sistemas de escape utilizan materiales avanzados y diseños innovadores para optimizar el flujo de gases de escape. A menudo se encuentran en coches de carreras y vehículos de alto rendimiento, donde cada detalle cuenta para mejorar la potencia y la eficiencia del motor. Estos sistemas pueden incluir características como tubos de mayor diámetro, materiales ligeros como el titanio o el acero inoxidable de alta calidad, y configuraciones especiales como sistemas de escape “cat-back” o “header-back”. Estos sistemas están diseñados para reducir el peso total del vehículo, lo que puede afectar la aceleración, la maniobrabilidad y la eficiencia general del combustible, además de mejorar el rendimiento del motor. Aunque son más costosos que los sistemas simples o dobles, los sistemas de escape de alto rendimiento ofrecen beneficios significativos para aquellos que buscan el máximo rendimiento de su vehículo.



**Ilustración 2-8:** Sistemas de escape.

Fuente: Abdelkareem et al. 2018.

#### **2.1.7. Propiedades de los Materiales de fabricación del sistema de gases de escape**

Los materiales utilizados en el sistema de escape deben soportar condiciones extremas, incluidas altas temperaturas y exposición a gases corrosivos.

#### *2.1.7.1. Acero al Carbono*

Este material es una opción común en la fabricación de sistemas de escape debido a su robustez y bajo costo, haciéndolo accesible para una amplia gama de aplicaciones automotrices. El acero al carbono soporta las altas temperaturas generadas por los gases de escape, esencial para el rendimiento del sistema. Sin embargo, su propensión a la corrosión representa un desafío significativo. La vulnerabilidad a la corrosión se manifiesta especialmente en ambientes húmedos o salinos, lo que puede acelerar el deterioro del sistema de escape y llevar a una reducción en su vida útil. Aunque inicialmente es más económico, el acero al carbono puede requerir mantenimiento o reemplazo más frecuentes, lo que aumenta el costo a largo plazo. En aplicaciones donde la durabilidad y la resistencia a la corrosión no son críticas, el acero al carbono sigue siendo una opción viable debido a su eficacia en el manejo de las altas temperaturas y su accesibilidad en términos de costos.

#### *2.1.7.2. Acero Inoxidable*

El acero inoxidable es preferido por muchos fabricantes de automóviles por su resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas. Este material es especialmente beneficioso para sistemas de escape en vehículos que operan en entornos difíciles o que requieren un mantenimiento mínimo. Aunque el costo inicial del acero inoxidable es más alto en comparación con el acero al carbono, este gasto adicional se compensa con una vida útil más larga y menos necesidad de reemplazos frecuentes. El acero inoxidable no solo mejora la longevidad del sistema de escape, sino que también mantiene su apariencia y funcionalidad a lo largo del tiempo. Este material es muy valioso en vehículos de alta gama y sujetos a condiciones extremas, como alta humedad o exposición a la sal. Además, el acero inoxidable puede ofrecer beneficios estéticos, ya que mantiene su brillo y apariencia con el tiempo, lo que es importante en vehículos de lujo o de exhibición.

#### *2.1.7.3. Aleaciones de Titanio*

Las aleaciones de titanio son la elección premium para sistemas de escape en vehículos de alto rendimiento y automóviles de carreras. Este material destaca por su excepcional ligereza y resistencia al calor extremo, factores cruciales en el rendimiento de alto nivel. El uso de titanio en sistemas de escape contribuye a reducir el peso total del vehículo, lo que mejora la aceleración, velocidad máxima y eficiencia del combustible. Aunque el costo del titanio es sustancialmente más alto que otros materiales, los beneficios en términos de rendimiento y reducción de peso lo justifican en aplicaciones donde cada detalle cuenta. Las aleaciones de titanio son especialmente

apreciadas en la industria automotriz de alto rendimiento, donde la optimización de cada componente del vehículo es esencial para lograr el máximo rendimiento. Además, el titanio ofrece una estética única y atractiva, con un acabado distintivo que es valorado tanto por fabricantes como por entusiastas del automovilismo.

#### *2.1.7.4. Dimensiones en el sistema de gases de escape*

La configuración precisa de las dimensiones en el sistema de escape, como el diámetro y la longitud de los tubos, así como el diseño del silenciador, es fundamental para el rendimiento óptimo del vehículo. Estas dimensiones influyen directamente en la eficiencia del motor, la emisión de ruido y la experiencia de conducción. Un diseño equilibrado es crucial para garantizar que el sistema de escape funcione eficazmente bajo diversas condiciones operativas.

#### **Diámetro de los Tubos de Escape**

Elegir el diámetro adecuado para los tubos de escape es vital para un flujo eficiente de gases. Un tubo demasiado estrecho puede crear una restricción excesiva, aumentando la contrapresión en el motor, lo que afecta negativamente su eficiencia y potencia. Por otro lado, un diámetro demasiado amplio puede reducir la velocidad del flujo de gases, lo que perjudica la eficacia del catalizador y la eficiencia del sistema. Encontrar el equilibrio correcto en el diámetro del tubo es esencial para optimizar el rendimiento del motor y la eficiencia del sistema de escape, considerando factores como el tipo de motor, el uso previsto del vehículo y las regulaciones ambientales.

#### **Longitud y Diseño del Silenciador**

La configuración del silenciador, un componente esencial para controlar el ruido debe ser cuidadosamente seleccionada. La longitud y el diseño interno del silenciador deben equilibrar la reducción de ruido con la eficiencia del flujo de gases. Un silenciador excesivamente restrictivo puede causar una contrapresión indebida, disminuyendo la eficiencia del motor y su potencia. En contraste, un silenciador con un diseño demasiado abierto puede ser ineficaz en la atenuación del ruido, lo que podría afectar la calidad de la experiencia de conducción. Es crucial seleccionar un diseño de silenciador que cumpla con los objetivos de rendimiento y las regulaciones de ruido, sin comprometer la eficiencia del flujo de gases de escape.

#### *2.1.8. Aplicación de Metodologías NVH (Ruido, Vibración y Dureza)*

La implementación de metodologías NVH en el diseño de sistemas de escape es crucial, especialmente en vehículos donde la experiencia de conducción es una prioridad, se centran en minimizar el ruido y las vibraciones para mejorar el confort dentro del vehículo. Un sistema de

escape diseñado siguiendo los principios NVH puede reducir de manera significativa las vibraciones y el ruido no deseados, mejorando la percepción de calidad y rendimiento del vehículo (Wang et al. 2020). Además, la aplicación de NVH puede mejorar la eficiencia del combustible y la respuesta general del vehículo, ya que un sistema de escape diseñado puede tener un impacto positivo en la dinámica del motor y la aerodinámica del vehículo.

La selección cuidadosa de las dimensiones y el diseño en el sistema de escape es vital para el rendimiento general del vehículo. Un equilibrio adecuado entre el diámetro de los tubos, la longitud y el diseño del silenciador, y la aplicación de metodologías NVH resulta en un sistema de escape que mejora la eficiencia, reduce el ruido y las vibraciones, y optimiza la experiencia de conducción.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

La sección revisada aborda de manera técnica y comprensible la metodología de investigación en el estudio de NVH (Ruido, Vibración y Aspereza) para el diseño de componentes automotrices. Se opta por un enfoque cualitativo y descriptivo, esencial para analizar detalladamente cómo las técnicas NVH contribuyen a la reducción de vibraciones en vehículos. Esta metodología facilita la recolección de datos técnicos y proporciona una visión integral del impacto de NVH en el diseño automotriz. Su aplicación permite no solo una comprensión teórica profunda, sino también el desarrollo de soluciones prácticas y efectivas para la industria. El enfoque metodológico, al ser robusto y adaptable, es crucial para un análisis exhaustivo y la generación de innovaciones significativas en el diseño y mejora de componentes automotrices.

#### 3.1. Diseño de la Investigación

##### 3.1.1. *Enfoque Cualitativo*

El enfoque cualitativo en la investigación se refiere a una metodología que se centra en entender y describir las experiencias, percepciones y comportamientos humanos desde una perspectiva interna y subjetiva (Salazar, 2020). Valora profundamente el contexto y el significado, y se orienta hacia la exploración de procesos, experiencias y fenómenos complejos (Eleanor, Zarestky y Gonzalez, 2020). Los datos recogidos en la investigación cualitativa son predominantemente narrativos, como las palabras, acciones y descripciones, en lugar de numéricos. Los datos se obtienen a través de métodos como análisis de documentos o textos y compilación de fuentes primarias. El análisis de estos datos implica una interpretación minuciosa, donde se busca patrones, temas y significados para comprender en profundidad el fenómeno bajo estudio. Este tipo de investigación es dinámica y adaptable, permitiendo que la comprensión del investigador evolucione a medida que se recopila nueva información.

#### 3.2. Nivel o tipo de investigación

##### 3.2.1. *Descriptiva*

La investigación descriptiva pretende representar con precisión y sistemática un fenómeno, proceso o situación (Guevara, Verdesoto y Castro, 2020). Se enfoca en detallar las características de un tema específico, describiendo lo que ocurre o cómo ocurre algo, sin necesariamente indagar en

las causas subyacentes (Revilla, 2022). Este enfoque se usa para documentar detalladamente las condiciones existentes y suele ser el punto de partida para futuras investigaciones causales o experimentales. Los estudios descriptivos son esenciales para obtener una visión clara y completa de un tema en particular, y pueden incluir la recopilación de datos a través de encuestas, cuestionarios y observaciones sistemáticas.

La presente investigación se caracteriza por su naturaleza cualitativa y descriptiva, proporcionando un análisis profundo de las metodologías NVH aplicadas al diseño de partes automotrices, este enfoque es esencial para capturar las sutilezas y complejidades inherentes al tema. La investigación se orienta hacia una comprensión holística de cómo las técnicas NVH pueden influir en la reducción de vibraciones en componentes específicos de vehículos. Al adoptar este enfoque, la tesis busca no solo entender las aplicaciones prácticas de estas metodologías sino también contextualizarlas dentro del marco teórico más amplio de la ingeniería automotriz.

### ***3.2.2. Revisión de Literatura y Recopilación de Datos***

La investigación comienza con una exhaustiva revisión de literatura, que constituye la piedra angular de la tesis. Esta fase implica la identificación, recopilación y análisis crítico de una amplia gama de fuentes, incluyendo publicaciones académicas, informes técnicos, estudios de caso y material multimedia relacionado con NVH. El proceso meticuloso tiene como objetivo construir un marco teórico sólido y diverso, proporcionando una base comprensiva para el análisis posterior. Se prestará especial atención a identificar las tendencias actuales, las brechas en la investigación existente y las oportunidades para innovaciones en el campo de NVH, este enfoque sistemático asegura que la investigación esté fundamentada en un entendimiento amplio y actualizado del tema, permitiendo un análisis más informado y contextualizado de los datos.

### **3.3. Modelado y Diseño**

La fase de modelado y diseño es central para la investigación. Se emplearán avanzadas herramientas de CAD y CAE específicamente Solidworks y ANSYS para crear modelos detallados del sistema de gases de escape. Esta etapa es crucial para visualizar cómo las modificaciones inspiradas en NVH pueden influir en la reducción de vibraciones. Se seleccionarán estas herramientas basándose en su capacidad para proporcionar simulaciones precisas y detalladas, permitiendo así un análisis minucioso del impacto de diferentes diseños y materiales. Se tomarán como referencia diseños existentes de sistemas de escape, modificándolos según los principios de NVH. Esta fase no solo es técnica sino también creativa, ya que implica

adaptar y optimizar diseños existentes con innovaciones inspiradas en las últimas investigaciones en NVH.

### **3.3.1. Simulación y análisis de datos NVH**

La simulación del comportamiento estructural del diseño propuesto es un paso crítico. Se utilizarán sofisticados programas de simulación para evaluar el rendimiento NVH del diseño modificado. Dichas simulaciones permitirán identificar y analizar las fuentes de vibración y cómo las modificaciones afectan su intensidad y distribución. El análisis de estos datos es fundamental para comprender la eficacia de diferentes enfoques de diseño en la reducción de las vibraciones. Se realizará un análisis exhaustivo de los resultados, utilizando técnicas avanzadas para desglosar los efectos de distintos factores como los materiales utilizados y la configuración del sistema de escape. Este análisis proporcionará perspectivas sobre las relaciones entre diseño, material y rendimiento NVH.

### **3.3.2. Evaluación y mejora del diseño**

Una vez realizadas las simulaciones, los diseños serán evaluados según criterios preestablecidos que reflejen las normas y expectativas actuales de rendimiento NVH. Esta evaluación es esencial para determinar si las modificaciones propuestas ofrecen mejoras tangibles en comparación con los sistemas de escape existentes. Basándose en los resultados de estas evaluaciones, se realizarán ajustes iterativos en el diseño, buscando un equilibrio entre innovación y practicidad. Este proceso iterativo es fundamental para refinar el diseño, asegurando que las soluciones propuestas no solo sean teóricamente sólidas sino también viables y eficaces en la práctica.

### **3.3.3. Documentación y presentación de resultados**

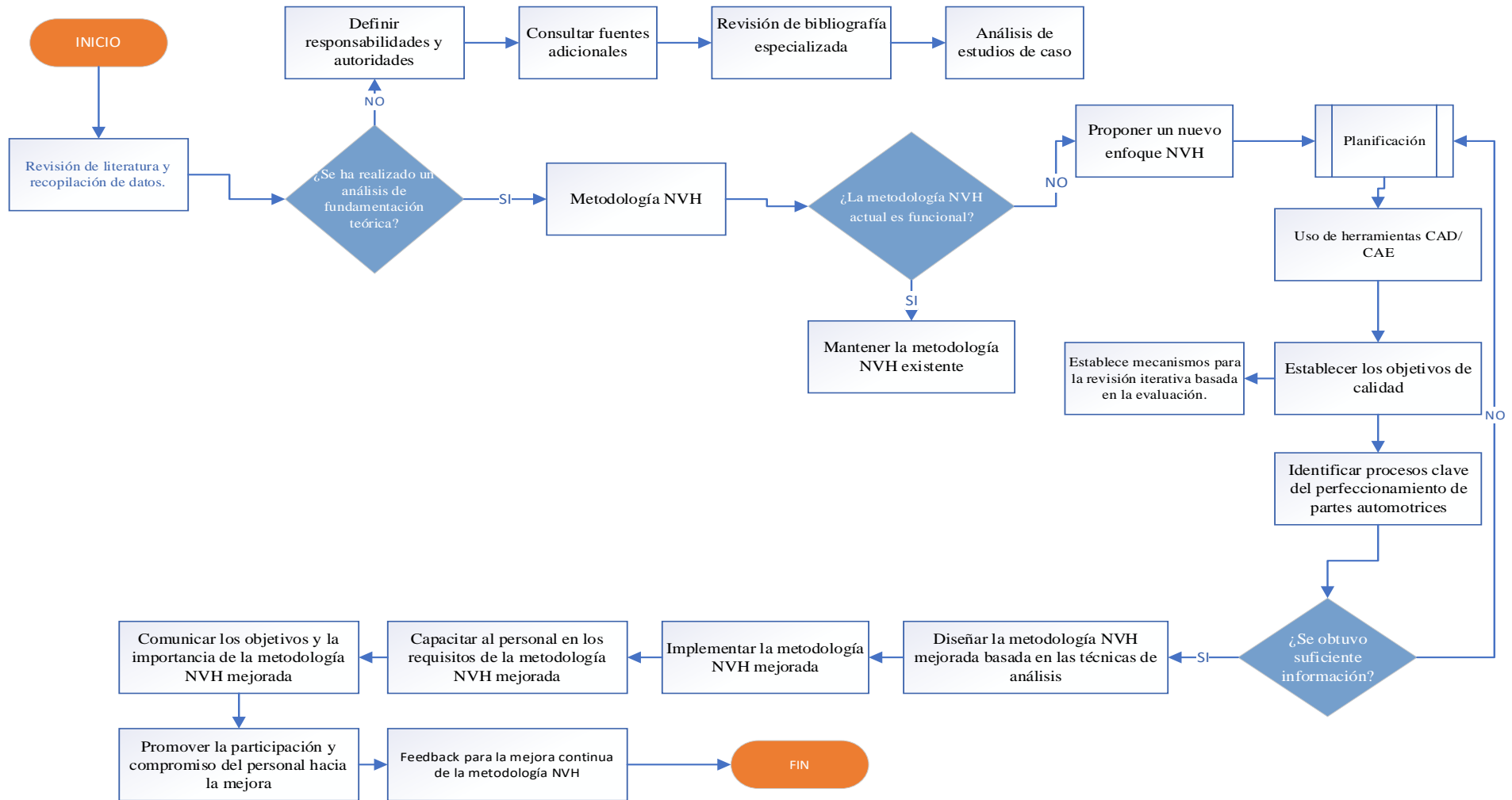
Se prepararán informes detallados que cubran el proceso de investigación, los métodos utilizados, los análisis realizados y las conclusiones alcanzadas, la documentación servirá como un registro comprensivo del estudio, asegurando que cada aspecto del proceso de investigación sea transparente y reproducible. Además, se utilizarán herramientas de visualización de datos para presentar los hallazgos de manera clara y accesible, la presentación efectiva de los resultados es crucial para comunicar los hallazgos obtenidos en la investigación.

En conclusión, este capítulo ofrece un resumen detallado de la metodología adoptada, subrayando su importancia en la consecución de los objetivos. Se establecen expectativas claras de que esta metodología proporcionará una comprensión profunda y aplicable de las metodologías NVH en

el diseño de partes automotrices. La aplicación de esta metodología rigurosa y multifacética garantiza un análisis exhaustivo y detallado, contribuyendo significativamente al campo de la ingeniería automotriz y al estudio de NVH. El marco metodológico integral y detallado asegura un enfoque riguroso y completo para la investigación, facilitando una comprensión profunda de la aplicación de las metodologías NVH en el perfeccionamiento de partes automotrices para reducir vibraciones.



# FLUJOGRAMA



**Ilustración 3-1:** Niveles de ruido en el vehículo.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024

### 3.4. Protocolo de ensayo

Para llevar a cabo el análisis computacional establecido en 3 fases:

**Tabla 3-1:** Fases de análisis computacional.

Modelado CAD	Tomando medidas referenciales de un vehículo Chevrolet de tipo SUV se modelo un sistema de gases de escape con características similares y parecidas al real y así realizar un análisis comparativo modificando partes, materiales y dimensiones. Las operaciones se lo realizan basado en el uso del sistema en vehículos tipo camioneta.
Preprocesamiento	Se utiliza un mallado promedio, tiempo estimado que alcanza la temperatura máxima por la que circula en cierto tiempo para alcanzarla. Todos los materiales y sus propiedades, así como también las características del sistema de gases de escape que fueron extraídos de la librería de ANSYS Workbench. El resto de las condiciones y parámetros que permiten replicar el ensayo definido por la metodología NVH, se implementaron con las cartas de control del documento.
Post- procesamiento	Involucró la interpretación de resultados, gráficos obtenidos, optimización y validación.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

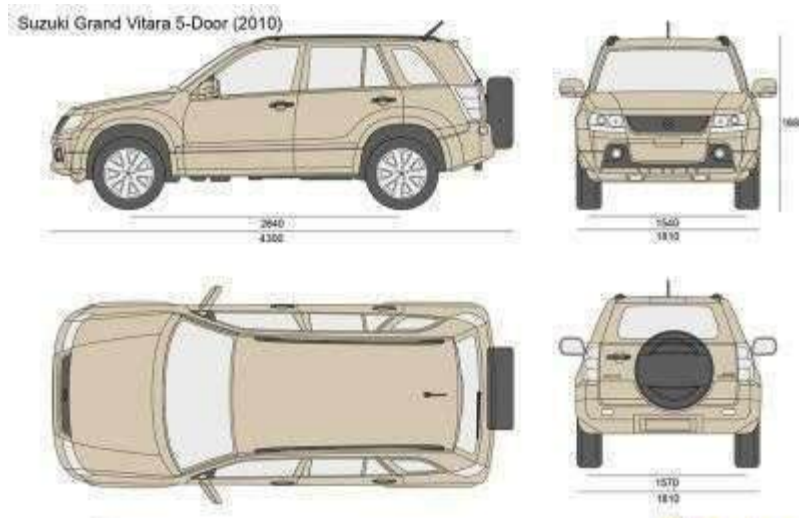
#### 3.4.1. Fase 1: Modelado CAD

El vehículo utilitario deportivo con el que se realizó las pruebas posee dimensiones generales de un SUV basadas en un Chevrolet Grand Vitara SZ, ver tabla 3-2:

**Tabla 3-2:** Características generales del modelo SUV – geometría.

Largo total	4300 mm
Ancho total	1810 mm
Alto total	1695 mm
Distancia entre ejes	2640 mm

**Fuente:** Chevrolet. 2019













**Ilustración 3-2:** Dimensiones generales de un vehículo

Fuente: blueprints, 2016.

Para el modelo se toma referencia las dimensiones tomadas de un vehículo real que se aprecia de la Tabla 3-3, y con eso proceder a realizar el diseño CAD en el software.

**Tabla 3-3:** Toma de medición en el vehículo.

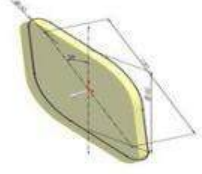
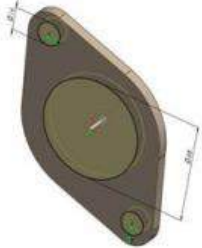

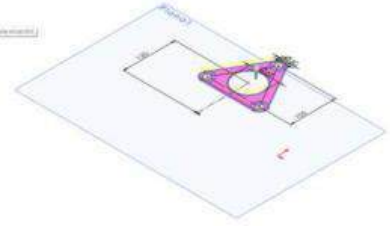
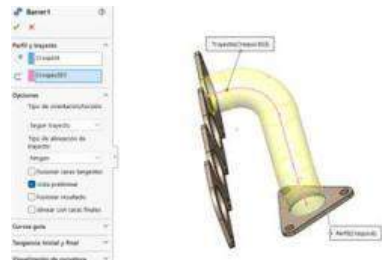
	
<p>Vehículo utilizado para la toma de datos</p>	<p>Toma de medidas del múltiple</p>
	
<p>Medición de diámetro externo del tubo de escape</p>	<p>Medición de diámetro interior del tubo de escape</p>

		
<p>Distancia de salida del múltiple</p>	<p>Longitud del catalizador</p>	
		
<p>Diámetro del catalizador</p>	<p>Medición del silenciador</p>	
		
<p>Ubicación de anclajes</p>		


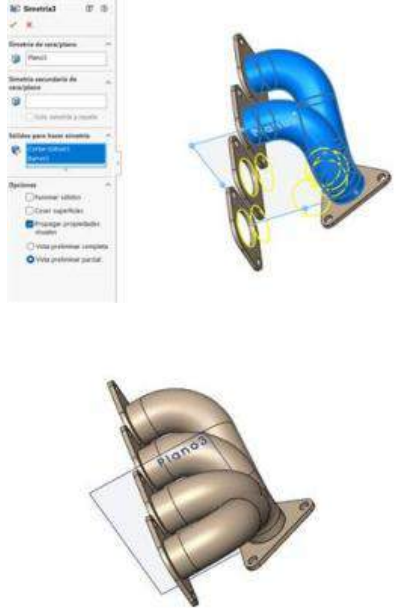
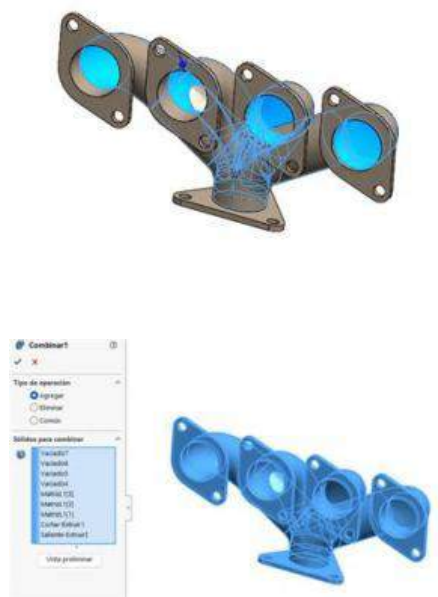
**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

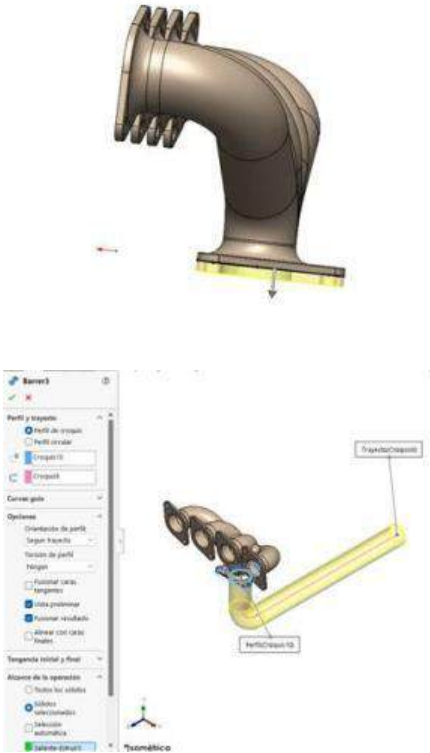
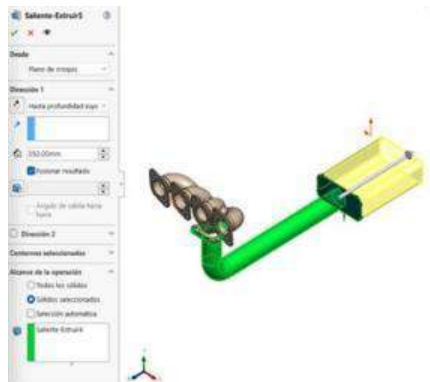
El modelo del vehículo en el software CAD se basa en barridos durante la fase de preprocesamiento para su discretización. Para llegar al modelo final se usaron las operaciones descritas en la Tabla 3-4.

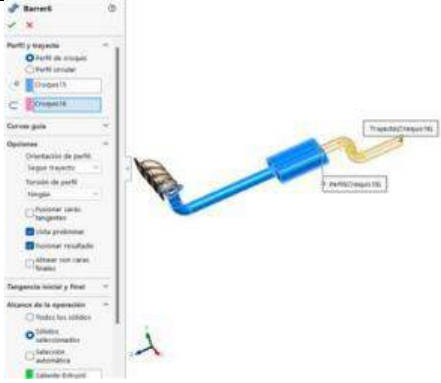
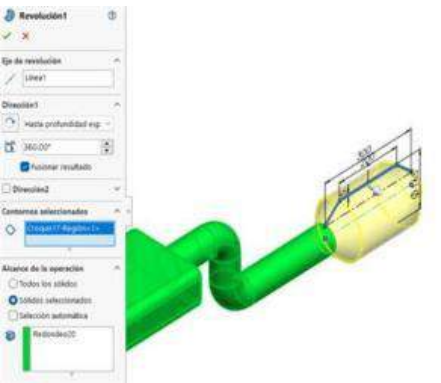
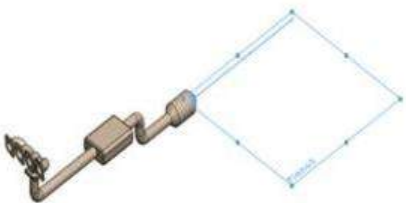
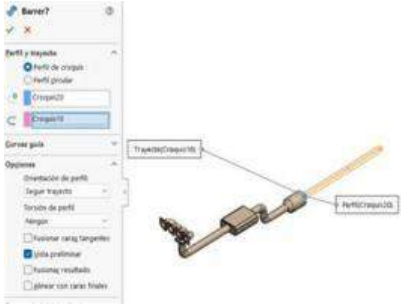
**Tabla 3-4:** Resumen de operaciones del modelo CAD

Operaciones	Descripciones	Figuras
Extrusión Base	<p>En el plano de alzado dibujamos una base para extruir. En la siguiente secuencia:</p> <p>Seleccionar plano-dibujar croquis- - operaciones -extruir base.</p>	
Corte-extruir	<p>A partir de la base creamos un croquis en una de las caras para generar un corte en la base. En la siguiente secuencia:</p> <p>Selección Cara base – Croquis- Operaciones – Extruir corte –Por todo.</p>	
Matriz Lineal	<p>A partir de la base creada se genera una matriz lineal para obtener las 4 salidas de gases del múltiple de escape. En la siguiente secuencia:</p> <p>Croquis- Línea referencia- Dirección- separación e instancia-Sólidos.</p>	
Plano- Extrusión Base	<p>Una vez dibujadas las salidas, dibujamos la base de conexión a la salida del tubo de escape.</p> <p>En la operación se creó un plano en Planta con una distancia requerida, y seguir en el siguiente orden para el dibujo:</p> <p>Croquis en el plano creado-Dibujar base- extruir base – Dirección hasta profundidad especificada.</p>	
Base barrido	<p>Con las dos bases creadas podemos unir la base de la salida de los gases del múltiple con la base de la unión al tubo de escape mediante un barrido y un croquis 3D para generar la forma del múltiple de escape. En el siguiente orden:</p> <p>Croquis en la base superior – seleccionar el orificio hueco de la base- convertimos entidad.</p>	

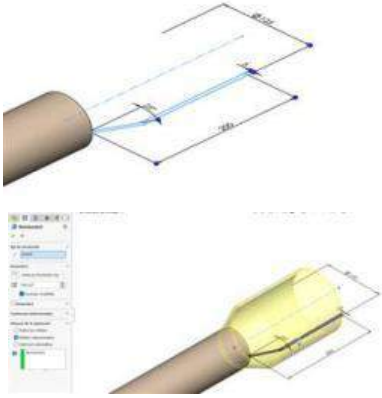
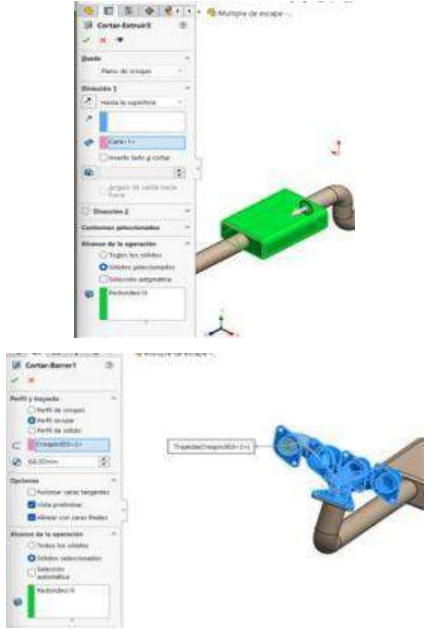
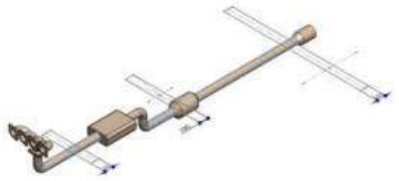


	<p>Croquis 3D- línea- selección de ejes de dirección de línea.</p> <p>Operaciones- Base barrido- Perfil (Croquis 6)-Trayecto (Croquis 3D)</p> <p>En la operación definir el tipo de corte como estándar, la herramienta de corte corresponde al croquis que se proyectó y cortó la superficie seleccionada.</p>	
<p>Simetría</p>	<p>Con los dos barridos dibujados se realiza una simetría generando un plano y un punto de referencia para lograr que la simetría sea correcta. En la siguiente secuencia:</p> <p>Croquis 3D- punto medio en el cilindro hueco de la base superior- línea de referencia hasta el largo y alto del múltiple.</p> <p>Operaciones- geometría- plano-referencia 1 (línea a lo largo del croquis 3D) coincidente – Referencia 2 (selección línea a lo alto del croquis 3D) coincidente.</p> <p>Operaciones-Simetría- Simetría de plano (Plano 3)- Sólidos para hacer simetría (solidos barridos).</p>	
<p>Vaciado combinado</p>	<p>Con el diseño realizado del múltiple se procede a vaciar para obtener los orificios de la salida de los gases de las 4 salidas y se combina todas las operaciones realizadas anteriormente para que sea un solo objeto. En la siguiente secuencia:</p> <p>Operaciones- Vaciado- parámetro (cara de vaciado)- para las 4 salidas de los gases.</p> <p>Para realizar la operación combinar se sigue la siguiente secuencia:</p> <p>Insertar- Operaciones- Combinar- Tipo de operación (Agregar)- Solidos para</p>	

	combinar (seleccionar los sólidos a combinar).	
Base-Conexión tubo de escape	<p>Con el múltiple terminado, conectamos al tubo de gases de escape hasta la salida, realizando el tubo con un barrido. En la siguiente secuencia:</p> <p>Seleccionar la cara de la base del múltiple-Normal a-Croquis- seleccionar cara y Convertir entidades- Extruir base-Desde (Plano de croquis)- Dirección (hasta la profundidad especifica).</p> <p>La operación para el tubo se lo realiza con un barrido desde la salida de la base en forma de L, siguiendo la siguiente secuencia:</p> <p>Selección de base- Croquis 10 (planta) dibujo de circunferencias del tubo hueco - Croquis 8 (vista lateral) forma de L- operaciones- Barrido base- perfil (croquis 10) – trayecto (croquis 8)- opciones- orientación de perfil (seguir trayecto)- Alcance de la operación (Sólidos seleccionados)</p>	
Catalizador	<p>El sistema cuenta con un catalizador situado a la mitad del tubo de gases de escape, se realiza como una caja donde almacena los gases. Cumple el siguiente orden para el dibujo:</p> <p>Seleccionar el final del tubo- Croquis- salir croquis- Operaciones-extruir base- Desde (Plano de croquis)-Dirección (Hasta la profundidad especifica)-alcance de la operación (Solido seleccionados- Tubo de gases de escape).</p> <p>Para cerrar el catalizador se hace de igual manera que arriba con un extruir base.</p>	
Continuación del tubo de escape - Silenciador	Luego del catalizador se continua con el tubo y se realiza la misma operación anterior de un barrido y esta salida se conecta a un silenciador el cual almacena	

	<p>el ruido y este puede retener y evitar que exista exceso de ruido. Esto de lo realiza de la siguiente manera:</p> <p>Selección de base- Croquis 15- convertir entidad de la circunferencia de salida del catalizador - Croquis 16 (vista lateral) forma de L- operaciones- Barrido base-perfil (croquis 15) – trayecto (croquis 16)-opciones- orientación de perfil (seguir trayecto)- Alcance de la operación (Sólidos seleccionados).</p> <p>Para realizar el silenciador se sigue los siguientes pasos:</p> <p>Croquis-línea de referencia- dibujo de forma de cilindro-salir del croquis- Operaciones- Revolución- Eje de revolución (línea de referencia)- Dirección (hasta profundidad especificada-Alcance de la operación (solidos seleccionados-Tubo de escape).</p>	 
<p>Salida del silenciador al tubo de escape</p>	<p>Luego del silenciador sale el tubo de gases de escape y para realizar la operación se realiza las siguientes operaciones:</p> <p>Se crea un plano en planta en referencia al silenciador para crear el tubo.</p> <p>Con el plano creado – creamos croquis- tomamos la salida del silenciador como referencia- creamos entidad a los dos círculos y una línea en horizontal para proceder con el barrido-operaciones- barrido base- trayecto (seleccionamos el croquis de la salida del silenciador)- perfil (seleccionamos la línea del tamaño del tubo)- orientación de perfil (seguir trayecto).</p>	 



<p>Boca de salida</p>	<p>A la salida del tubo se encuentra una boca que se lo realiza de la siguiente forma:</p> <p>Creamos croquis a la salida del tubo de gases de escape- dibujamos con línea de referencia y la forma de la boca para realizar una revolución-operaciones-revolución- eje de revolución (selección la línea de referencia)- dirección 1 (hasta profundidad especifica).</p>	
<p>Corrección de fallas del sistema finalizado</p>	<p>Con el sistema de gases de escape finalizado se verifica fallos de corte de perforaciones, para esto realizamos las siguientes operaciones en los fallos encontrados:</p> <p>Perforación a la salida del catalizador: seleccionamos un extruir corte (seleccionamos el círculo del tubo de escape) – desde el plano – dirección 1 hasta la superficie (seleccionamos la cara interna del catalizador).</p> <p>Verificamos los orificios del múltiple y encontramos algunos defectos y hacemos lo siguiente para las 4 salidas:</p> <p>Operaciones- Cortar- Barrer- perfil circular- trayecto (croquis de la línea interna).</p>	
<p>Línea de partición para anclajes</p>	<p>Con todas las fallas solucionados, se realiza líneas de partición para la simulación que sirvan como anclajes: realizamos un croquis en el lugar en el que se va a realizar las particiones- Seleccionamos en curva- línea de partición-seleccionamos el croquis y la cara a la que se va a realizar la partición en este caso los tubos y con eso están realizado las particiones.</p>	

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

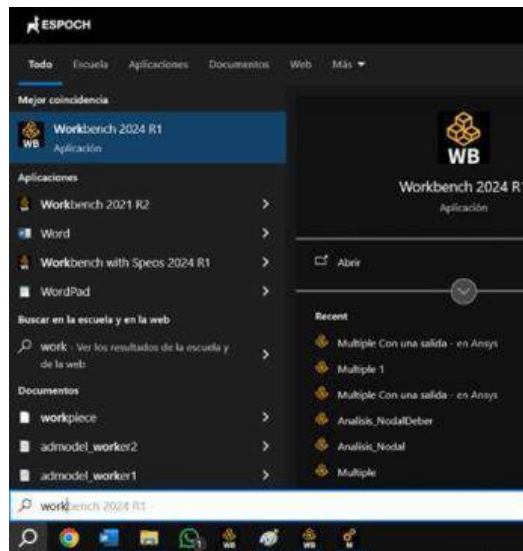
### 3.4.2. Fase 2: Preprocesamiento

Todo el modelo a partir de la primera fase trabajó con las unidades de mm y en cuerpos sólidos.

#### 3.4.2.1. Simulación con la herramienta Transcient Thermal.

#### Ejecución del software CAE.

En la barra de herramienta nos ubicamos en la opción de buscar y escribimos Workbench-Año, esto varía dependiendo la versión del software en este caso utilizaremos Workbench 2024 R1.



**Ilustración 3-3:** Inicio de Workbench 2024 R1.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

#### Selección de la herramienta.

Ejecutado el software en la barra de herramientas Workbench 2024 R1, buscamos la herramienta Transient Thermal y ejecutamos, es la que necesitaremos en la simulación.

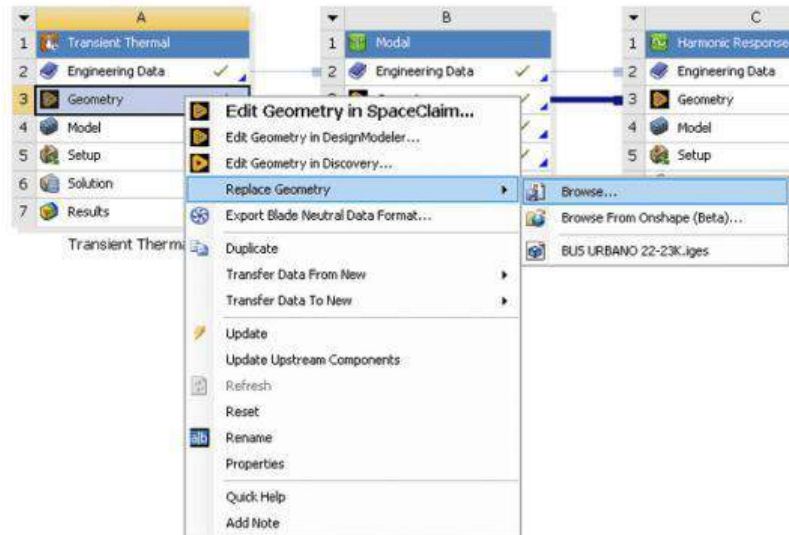


**Ilustración 3-4:** Selección de herramienta Transient Thermal.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Cargar el modelo CAD.

En la ventana de Trascient Thermal, nos ubicaremos sobre la opción, Geometry luego sobre Import Geometry y final mente en Browse..., ejecutamos y buscamos en los archivos del equipo el modelo debe tener extensión “. IGES o. STEP” que tengamos, esto dependerá del software CAE utilizado en este caso utilizaremos Solidworks para el modelo.

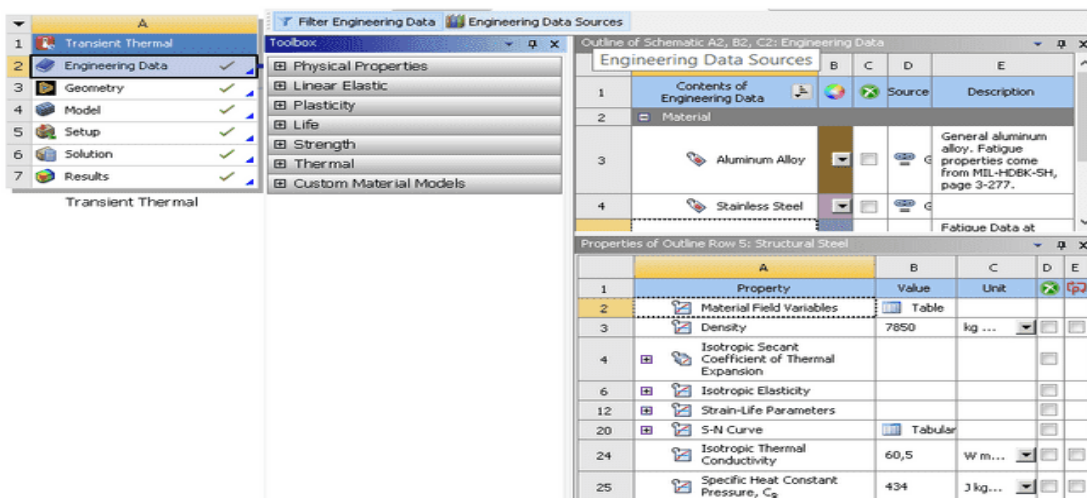


**Ilustración 3-5:** Cargar el modelo CAD con extensión “. STEP o. IGES”.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Seleccionar los materiales a utilizar.

En la ventana de Trascient Thermal, nos ubicamos en Engineering Data y ejecutamos donde podremos observar una biblioteca con los diferentes materiales que podemos utilizar, editando sus propiedades según sea la necesidad de la simulación a ejecutar.

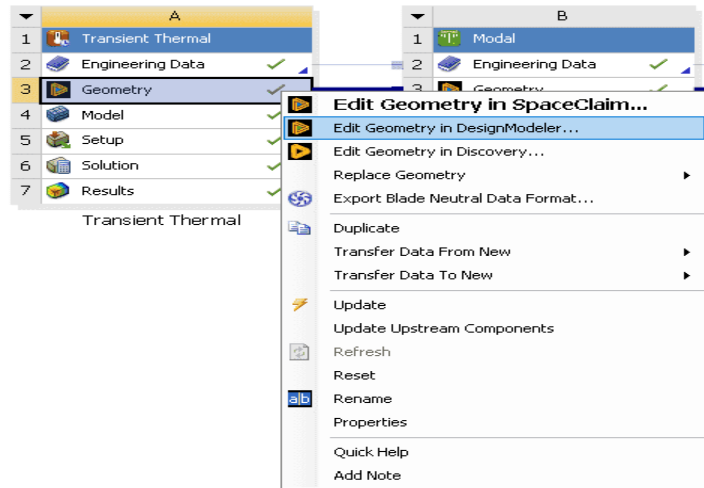


**Ilustración 3-6:** Cargar los materiales que vamos a utilizar en la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Iniciar la ventana de trabajo.

En la ventana Transcient Thermal, nos ubicamos en Geometry y seleccionamos la opción “Edit Geometry in DesignModeler...” y esperamos.

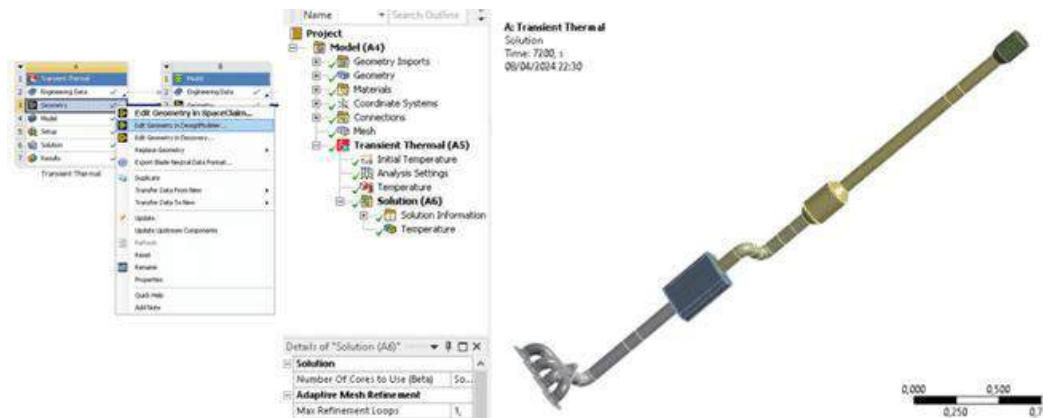


**Ilustración 3-7:** Ejecutar la ventana de trabajo para iniciar la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Verificar si el modelo CAD se cargó correctamente.

Al ejecutar “Edit Geometry in DesignModeler...” debemos observar un visto de color verde justo en la opción de “Geometry”, caso contrario no se ejecutará una ventana emergente donde podremos observar el modelo CAD a simular.

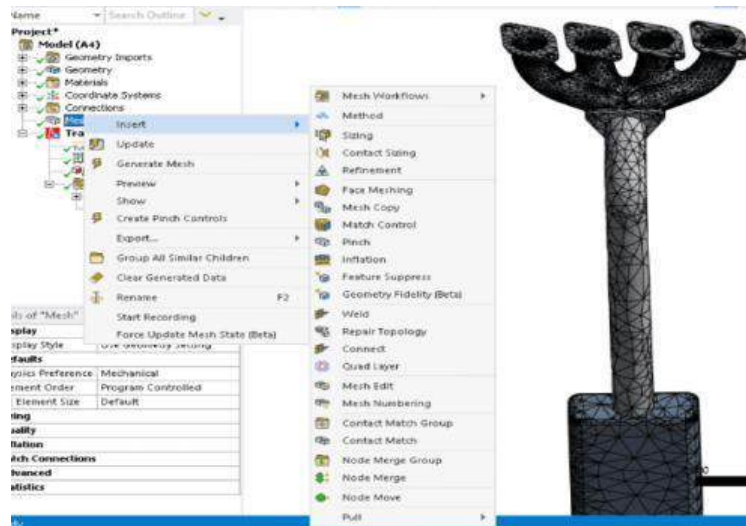


**Ilustración 3-8:** El modelo CAD cargado correctamente.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Seleccionar método de mallado.

Al ubicarnos en la opción Mesh podemos observar las opciones para obtener un mallado optimo, por las limitaciones del equipo utilizado para la simulación solo utilizaremos un mallado por default.



**Ilustración 3-9:** Modelo CAD mallado.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Propiedades de simulación.

En la herramienta Trascient Thermal, para la simulación utilizamos una temperatura de inicio de 200 °C, en Analysis Settings colocamos el número de paso 11, el tiempo 7200s que equivale a 2h, con un tiempo inicial de 7,2s con mínimo tiempo de paso de 0,72s y máximo de 72s.

**Details of "Initial Temperature"**

Definition	
Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	200, °C

**Details of "Analysis Settings"**

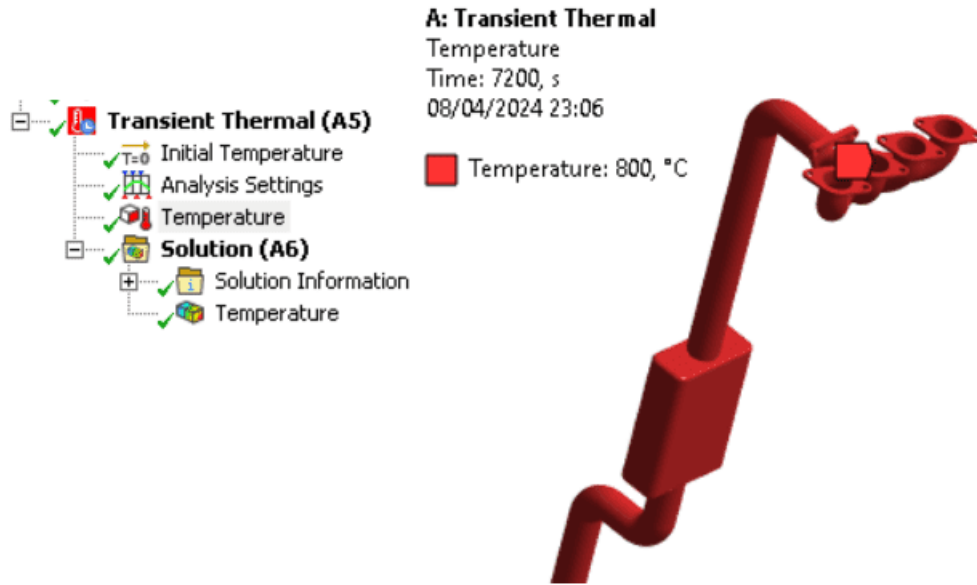
Step Controls	
Number Of Steps	11,
Current Step Number	11,
Step End Time	7200, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Initial Time Step	7,2 s
Minimum Time Step	0,72 s
Maximum Time Step	72, s
Time Integration	On

**Ilustración 3-10:** Asignación de los valores iniciales para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Condiciones de simulación.

Para el inicio de la simulación del Trascient Thermal, la temperatura de salida del motor hacia el múltiple de escape de gases hasta su final será de 800 °C.

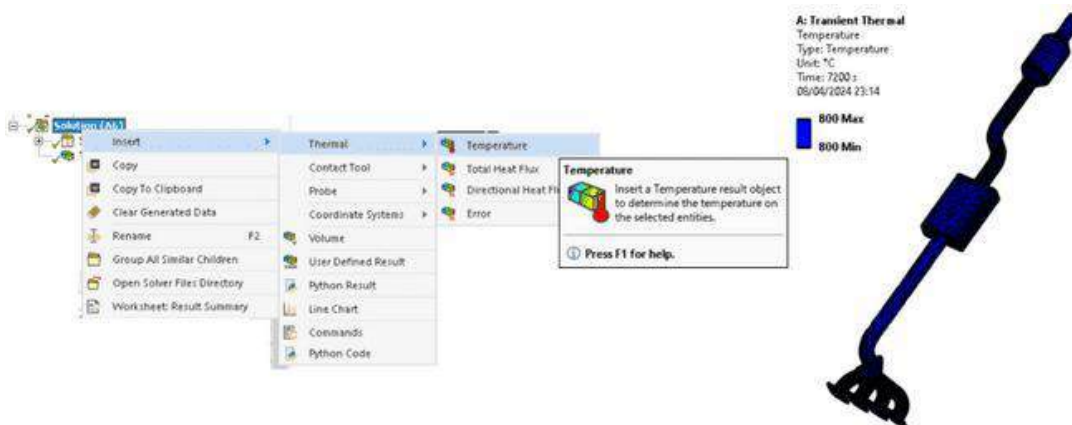


**Ilustración 3-11:** Temperatura inicial de 800°C, para iniciar la simulación.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### Operaciones de simulación

Si observamos que las condiciones anteriores se encuentran con un visto verde, nos ubicamos en la opción de Solution-Insert-Thermal-Temperatura, realizado estos pasos podemos darle a solucionar y esperaríamos que resuelva y poder observar la solución que a la salida del motor y entrada del múltiple tiene una temperatura de 800 °C.



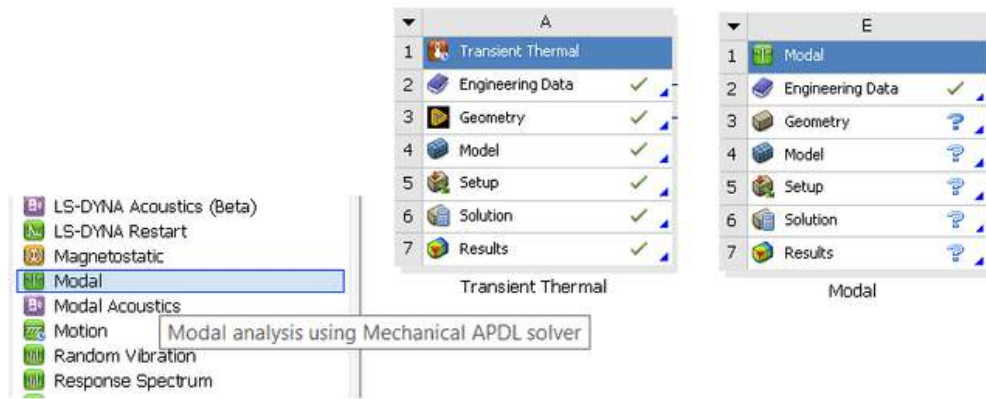
**Ilustración 3-12:** Selección de operaciones para la interpretación de los resultados.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

#### 3.4.2.2. Simulación con la herramienta Modal para determinar los modos de vibración.

### Selección de la herramienta

Para nosotros continuar con la simulación debemos seleccionar la herramienta “Modal”, para poder utilizarlo debemos arrastrarlo a un lado de la simulación anterior Transcient Thermal.

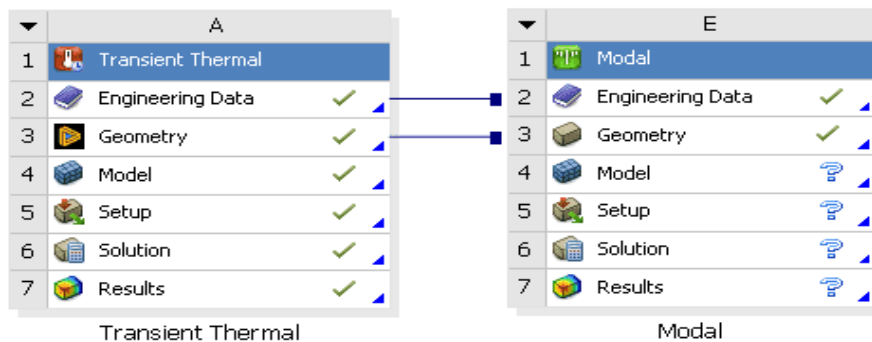


**Ilustración 3-13:** Selección de la herramienta para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Cargar el modelo CAD.

Para realizar esta simulación vamos a utilizar el mismo modelo para los cual seleccionamos a la misma vez, Engineering Data-Geometry de la ventana Trascient Thermal, luego arrastramos hacia la ventana de modal en Geometry y soltamos lo que creara una conexión entre las dos ventanas con los mismos materiales y modelo.



**Ilustración 3-14:** Cargar el modelo CAD.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Iniciar la ventana de trabajo.

Para iniciar la herramienta “Modal” realizaremos los mismos pasos descritos en la “Ilustración 3-7” realizado los pasos ejecutamos y esperamos.

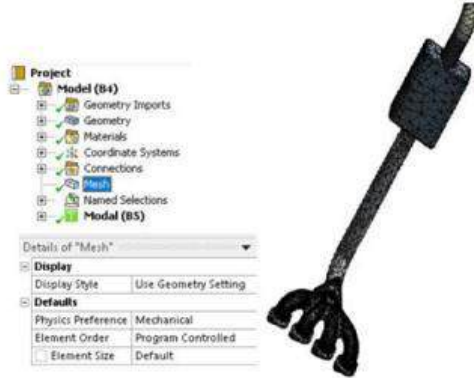
### Verificar si el modelo CAD se cargó correctamente

Al ejecutar “Edit Geometry in DesignModeler...” debemos observar un visto de color verde justo en la opción de “Geometry”, caso contrario no se ejecutará una ventana emergente donde podremos observar el modelo CAD a simular.



### Seleccionar método de mallado

Al ubicarnos en la opción Mesh podemos observar las opciones para obtener un mallado optimo, por las limitaciones del equipo utilizado para la simulación solo utilizaremos un mallado por default.

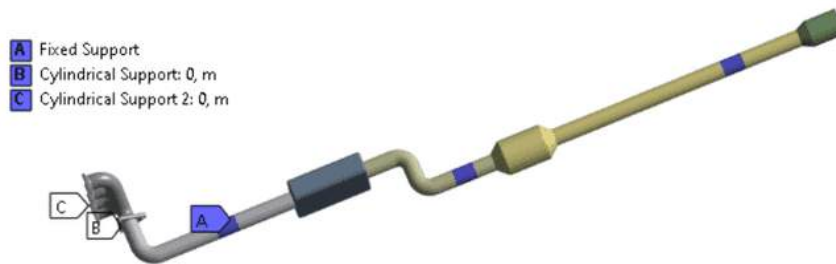


**Ilustración 3-15:** Modelo CAD mallado.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Anclajes de la simulación

Para esta simulación que nos permite medir los niveles de vibración los anclajes son una parte importante, en este caso podemos observar 4 anclajes diferentes según nuestro modelo CAD.



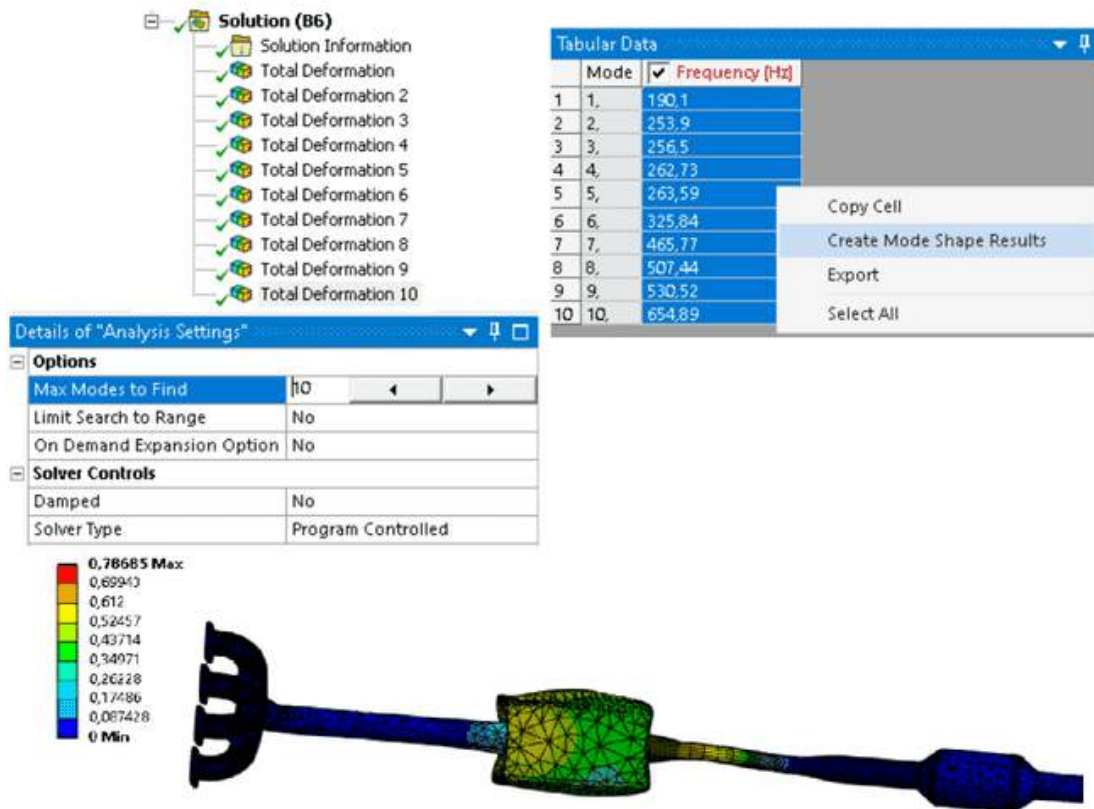
**Ilustración 3-16:** Anclajes necesarios para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Propiedades de simulación.

En la opción “Modal-Analysis Settings”, observamos varias opciones para iniciar esto debemos ubicar el número de iteraciones de simulación a ejecutar lo cual iniciamos con 10 y ejecutamos, una vez solucionado podemos observar una tabla con los resultados lo cual debemos seleccionar todas y observar las opciones “Create Mode Shape Result” una vez generado todas las simulaciones podemos ejecutar la solución y esperar.



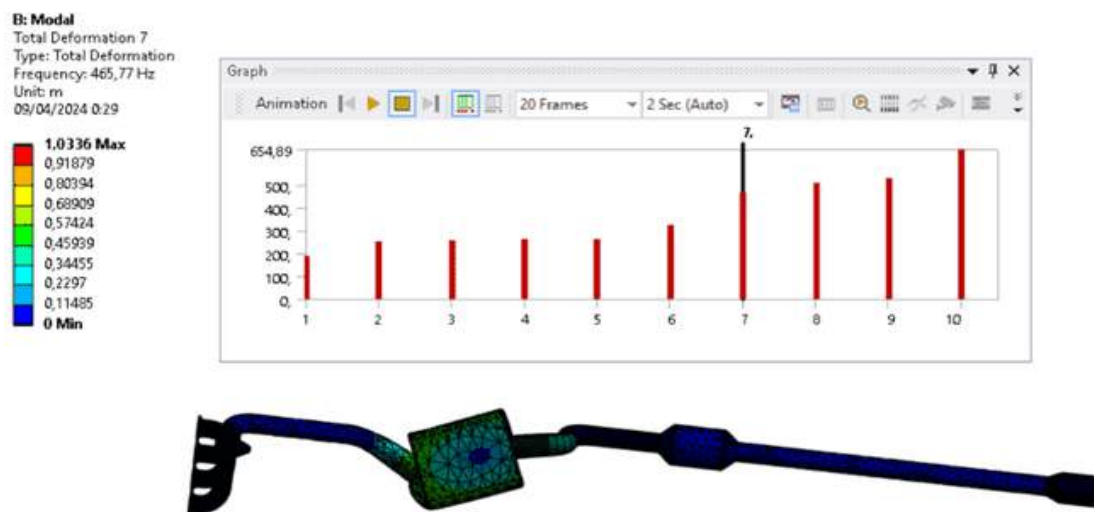


**Ilustración 3-17:** Modos de vibración.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Operaciones de simulación

Si observamos que, al resolver con las condiciones y parámetros necesarios, todas las opciones tienen color verde, podemos concluir que la simulación y los resultados esperados son los adecuados, observando una gráfica de nivel de frecuencia (Hz), que podemos interpretar los resultados según sean necesarios.



**Ilustración 3-18:** Resultados de la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### 3.4.2.3. Simulación con la herramienta Harmonic Response.

Para la simulación en esta sección se utiliza algunos factores importantes los cuales nos ayuda a la realización de la simulación el cual se realiza un análisis de presiones para conocer la presión de entrada la presión media y la presión de salida como se muestra en el siguiente calculo:

La determinación de presiones determina mediante la siguiente formula que es:

$$\frac{P1}{\gamma} + h1 = \frac{P2}{\gamma} + h2 \quad 3-1$$

$$\frac{P1}{\gamma} + h1 = \frac{P2}{\gamma} + h \quad 3-2$$

El tipo de fluido es incomprensible

- Número de Mach =  $Ma < 0.3 = 0.29$  (Frank 2008)
- Velocidad del fluido =  $v$
- Velocidad del sonido =  $c$  a 2600 msnm = 330.2 m/s (Cengel 2015)

Por lo que:

$$Ma = \frac{v}{c} \quad 3-3$$

$$C * Ma = v \quad 3-4$$

$$v = 330.2 \frac{m}{s} * 0.29 = 95.756 \frac{m}{s} \quad 3-5$$

Una vez obtenida la velocidad del fluido se procede a determinar las presiones, para lo cual se emplea coeficientes k de depósito del silenciador

- Coeficiente k de depósito del silenciador = 2.05 (Palacios 2010)
- Densidad del aire a 2600 msnm =  $\rho = 0.947 \frac{kg}{m^3}$  (Cengel 2015)

Por lo que la Presión 1, inicial, sería:

$$K = \frac{2P1}{\rho v^2} \quad 3-6$$

$$P1 = \frac{K \rho v^2}{2} \quad 3-7$$

$$P1 = \frac{2.05 (0.947 \frac{kg}{m^3})(95.756 \frac{m}{s})^2}{2}$$

3-8

$$P1 = 8900.3244 \frac{N}{m^2} = 8900.3244 Pa = 8.9 kPa$$

3-9

La presión media es P2, media, donde:

$$\frac{v2}{v1} = \frac{1}{r} = \frac{v3}{v2}$$

3-10

Donde:

- T1 = 200 C = 473.15 K
- T2 = 500 C = 773.15 K
- T3 = 800 C = 1073.15 K
- r = 12:1

Por lo (Cengel, 2015), dice que:

Por lo que P2:

$$\frac{P2 v2}{T2} = \frac{P1 v1}{T1}$$

3-11

$$P2 = \frac{P1 v1 T2}{T1 v2}$$

3-12

$$P2 = \frac{r * P1 * T2}{T1}$$

3-13

$$P2 = \frac{12 * 8900.3244 Pa * 772.15 K}{473.15 K}$$

3-14

$$P2 = 174297.0 Pa = 174.3 kPa$$

3-15

Mientras que la P3, que es la Presión máxima, se determinaría de la siguiente manera:

$$\frac{P3 v3}{T3} = \frac{P2 v2}{T2}$$

3-16

$$P3 = \frac{P2 v2 T3}{T2 v3}$$

3-17

$$P3 = \frac{r * P2 * T3}{T2} \tag{3-18}$$

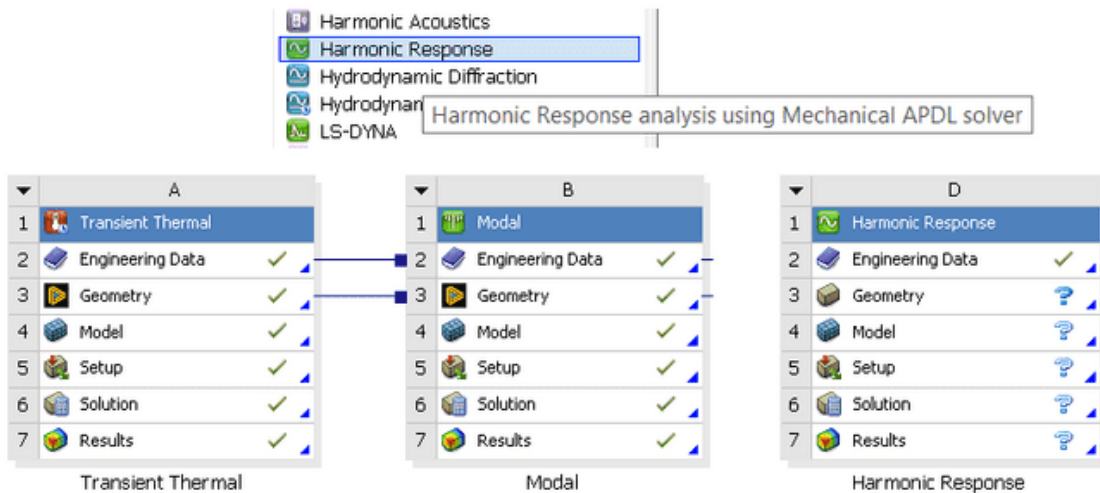
$$P3 = \frac{12 * 174297.0 \text{ Pa} * 1073.15 \text{ K}}{773.15 \text{ K}} \tag{3-19}$$

$$P3 = 2903138.99 \text{ Pa} = 2903.14 \text{ kPa} \tag{3-20}$$

Con los siguientes cálculos encontrados aplicamos los siguientes valores en el proceso de la simulación.

### Selección de la herramienta.

Ejecutado el software en la barra de herramientas Workbench 2024 R1, buscamos la herramienta Harmonic Response y ejecutamos, es la que necesitaremos para continuar la simulación.

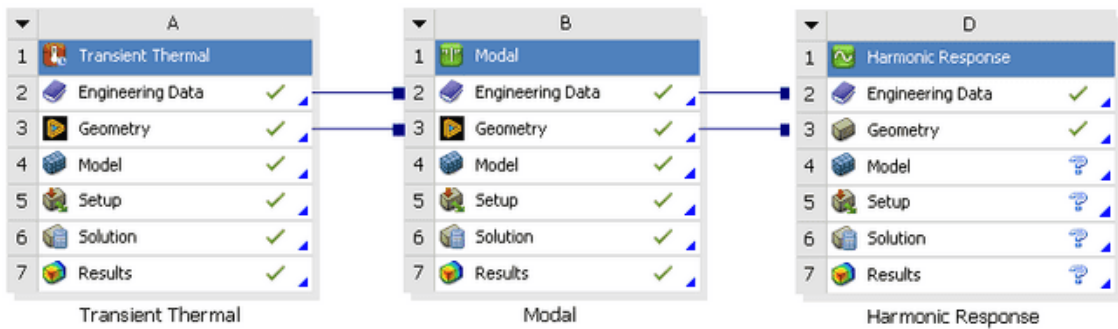


**Ilustración 3-19:** Selección de la herramienta para la simulación.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### Cargar el modelo CAD.

En la ventana de Harmonic Response, nos ubicaremos sobre las opciones, Engineering Data-Geometry de la ventana Harmonic Response, seleccionamos sin soltar y arrastramos para poder crear una conexión entre las dos ventanas donde tendremos el mismo modelo con el mismo material.



**Ilustración 3-20:** El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

**Iniciar la ventana de trabajo.**

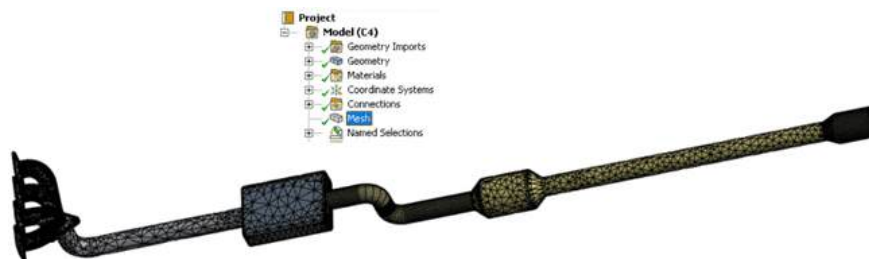
Para iniciar la herramienta Harmonic Response realizaremos los mismos pasos descritos en la “Ilustración 3-7” realizado los pasos ejecutamos y esperamos.

**Verificar si el modelo CAD se cargó correctamente.**

Al ejecutar “Edit Geometry in DesignModeler...” debemos observar un visto de color verde justo en la opción de “Geometry”, caso contrario no se ejecutará una ventana emergente donde podremos observar el modelo CAD a simular.

**Seleccionar método de mallado.**

Al ubicarnos en la opción Mesh podemos observar las opciones para obtener un mallado optimo, por las limitaciones del equipo utilizado para la simulación solo utilizaremos un mallado por default.

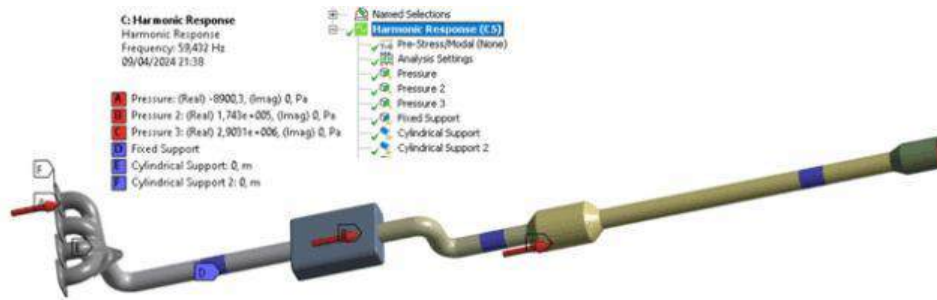


**Ilustración 3-21:** Modelo CAD mallado por default.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

**Propiedades de simulación.**

Para continuar con la simulación debemos definir los anclajes, niveles de presión calculados anteriormente, para iniciar la simulación debemos iniciar con una frecuencia de 59,432 Hz, Presión A: 8900 Pa, Presión B: 174,297 Pa, Presión C: 2903138,99 Pa además definimos los anclases D, E, F como cylindrical Suport, ademas definir los diferentes niveles de presiones en varios puntos de interes para la simulacion.

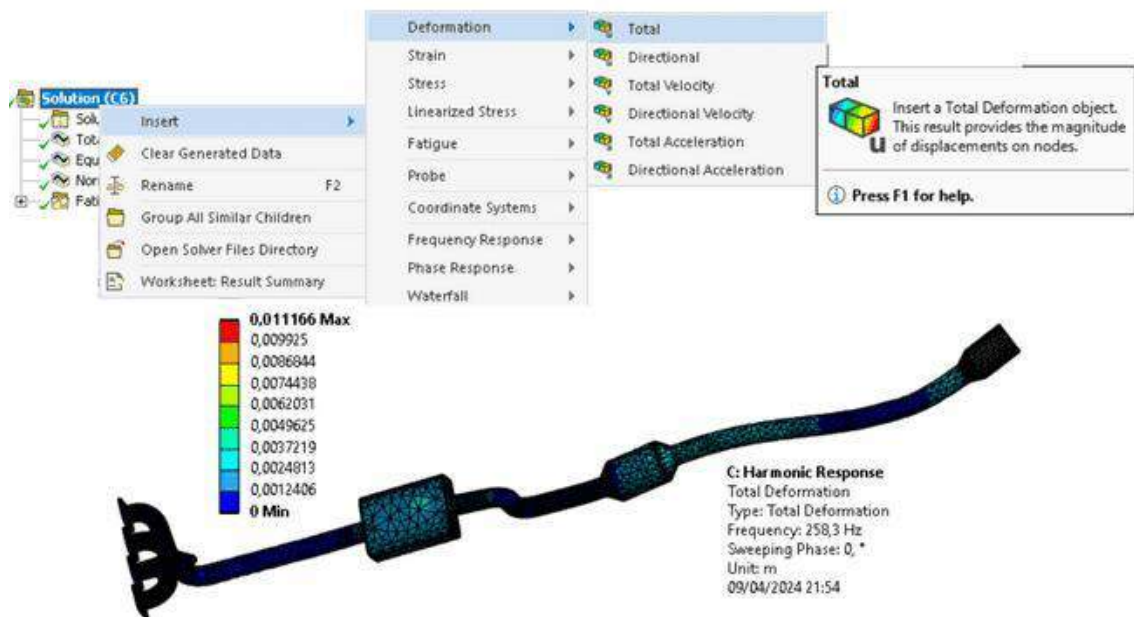


**Ilustración 3-22:** Puntos de interés para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Operaciones de simulación.

Si observamos que las condiciones anteriores se encuentran con un visto verde, nos ubicamos en la opción de Solution-Insert-Deformación-Total, realizado estos pasos podemos solucionar y repetir los pasos para encontrar valores de simulación como Deformación total, Equivalent Stress, Normal Elastic Strain y Safety Factor, una vez realizado esto debemos esperar e interpretar los resultados.



**Ilustración 3-23:** Resultados de la simulación Harmonic Response.

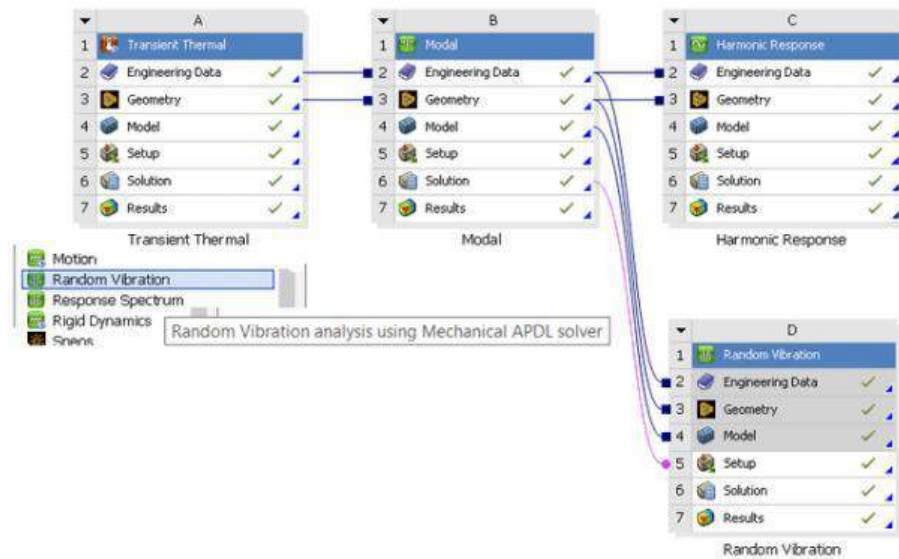
Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Simulación con la herramienta Random Vibration

Para realizar la simulación en esta sección se utiliza algunos factores importantes los cuales nos ayuda a la realización de la simulación el cual se realiza un análisis de presiones para conocer la presión de entrada la presión media y la presión de salida como se muestra en el siguiente calculo:

### Selección de la herramienta.

Ejecutado el software en la barra de herramientas Workbench 2024 R1, buscamos la herramienta Random Vibration y ejecutamos, es la que necesitaremos para continuar la simulación.

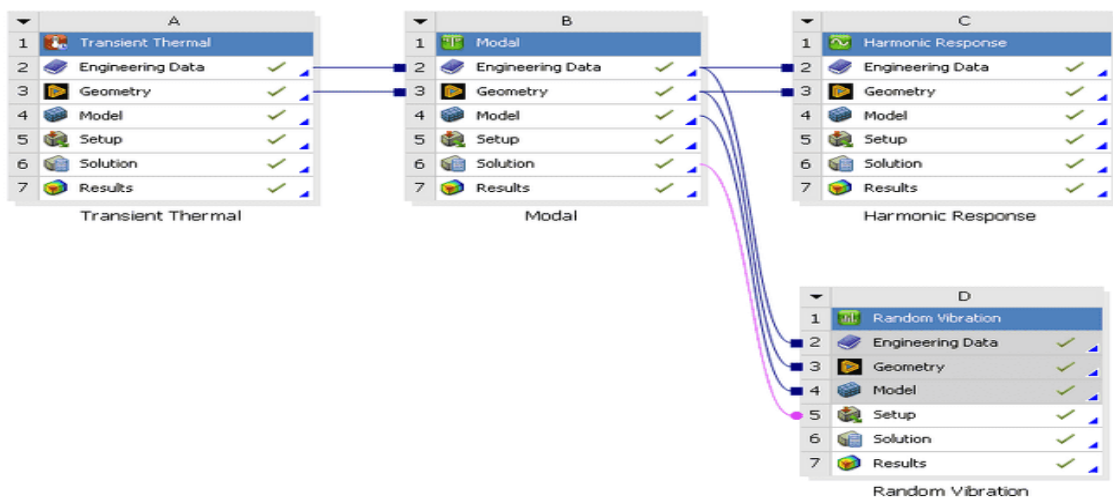


**Ilustración 3-24:** Selección de la herramienta para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Cargar el modelo CAD.

Para cargar el modelo en la ventana de Random Vibration, nos ubicaremos sobre las opciones de la simulación Modal ya que utilizaremos algunos datos de Engineering Data-Geometry, Geometry, Model, Setup y Solution las seleccionamos todas al mismo tiempo y arrastramos para poder crear una conexión entre las dos ventanas donde tendremos el mismo modelo con el mismo material, condiciones y restricciones para completar la simulación.



**Ilustración 3-25:** El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### **Iniciar la ventana de trabajo.**

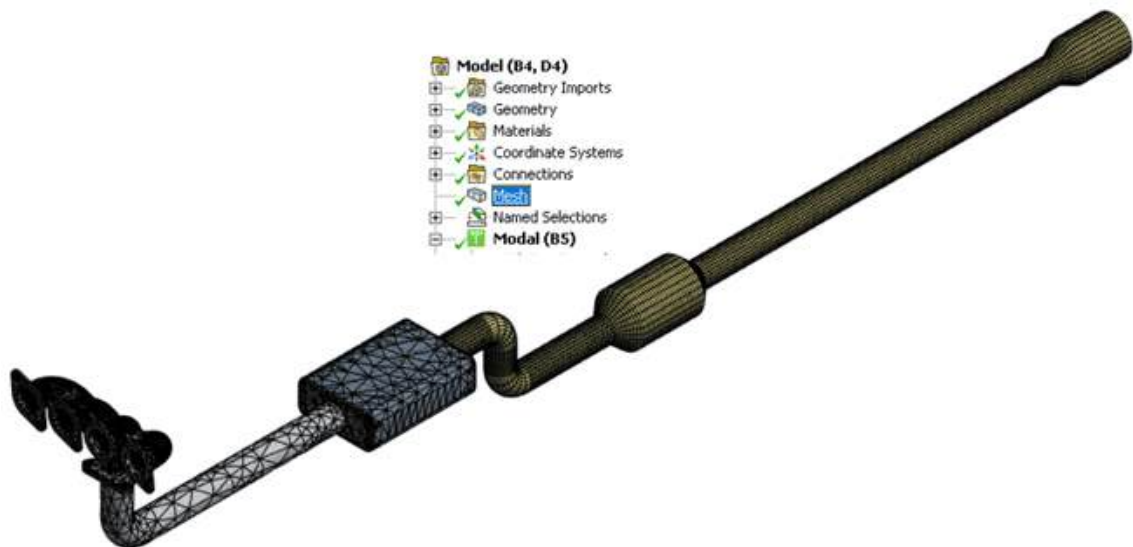
Para iniciar la herramienta Random Vibration realizaremos los mismos pasos descritos en la “Ilustración 3-7” realizado los pasos ejecutamos y esperamos.

### **Verificar si el modelo CAD se cargó correctamente.**

Al ejecutar “Edit Geometry in DesignModeler...” debemos observar un visto de color verde justo en la opción de “Geometry”, caso contrario no se ejecutará una ventana emergente donde podremos observar el modelo CAD a simular.

### **Seleccionar método de mallado.**

Al ubicarnos en la opción Mesh podemos observar las opciones para obtener un mallado optimo, por las limitaciones del equipo utilizado para la simulación solo utilizaremos un mallado por default.



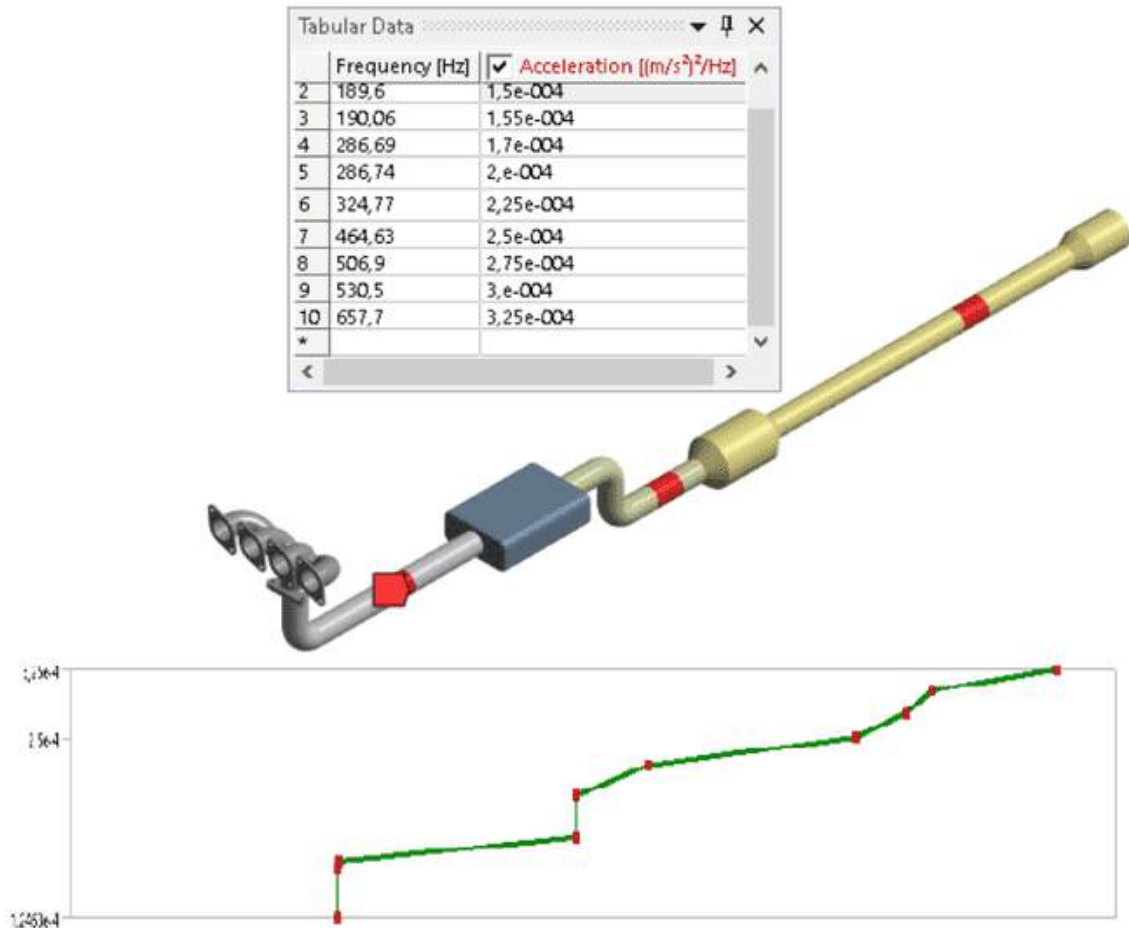
**Ilustración 3-26:** Modelo CAD mallado por default.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### **Propiedades de simulación.**

Para iniciar la simulación debemos colocar los anclajes, ya que esta herramienta depende de otra para que genere los resultados requeridos, las condiciones a las que está sujeta son las mismas de la simulación modal con esta herramienta podemos tabular los valores de aceleración según su frecuencia, su aceleración aumenta según la frecuencia aumenta, como podemos ver en la Ilustración 3-22.



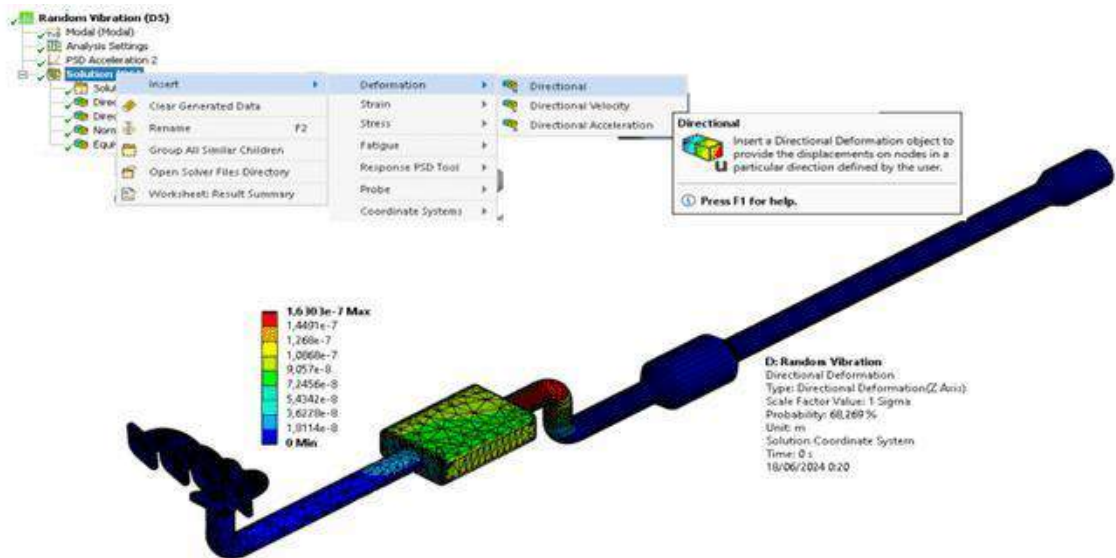


**Ilustración 3-27:** Puntos de interés para la simulación.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### **Operaciones de simulación.**

Si observamos que las condiciones anteriores se encuentran con un visto verde, nos ubicamos en la opción de Solution-Insert-Deformación-Total, realizado estos pasos podemos solucionar y repetir los pasos para encontrar valores de simulación como Deformación total, Equivalent Stress, Normal Elastic Strain, una vez realizado esto debemos esperar e interpretar los resultados.



**Ilustración 3-28:** Resultados de la simulación Random Vibration.

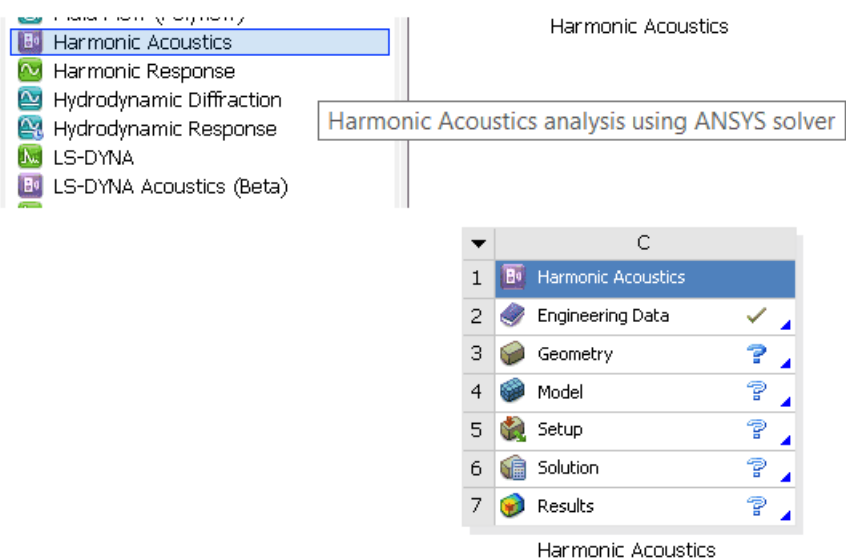
**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

#### 3.4.2.4. Simulación con la herramienta Harmonic Acoustics

Para realizar la simulación debemos iniciar una nueva ventana de trabajo considerando el gasto computacional es grande para realizar esta simulación por lo cual optamos realizar de forma independiente lo cual detallaremos a continuación.

#### Selección de la herramienta

Ejecutado el software en la barra de herramientas Workbench 2024 R1, buscamos la herramienta Harmonic Acoustics y ejecutamos, es la que necesitaremos para continuar la simulación.

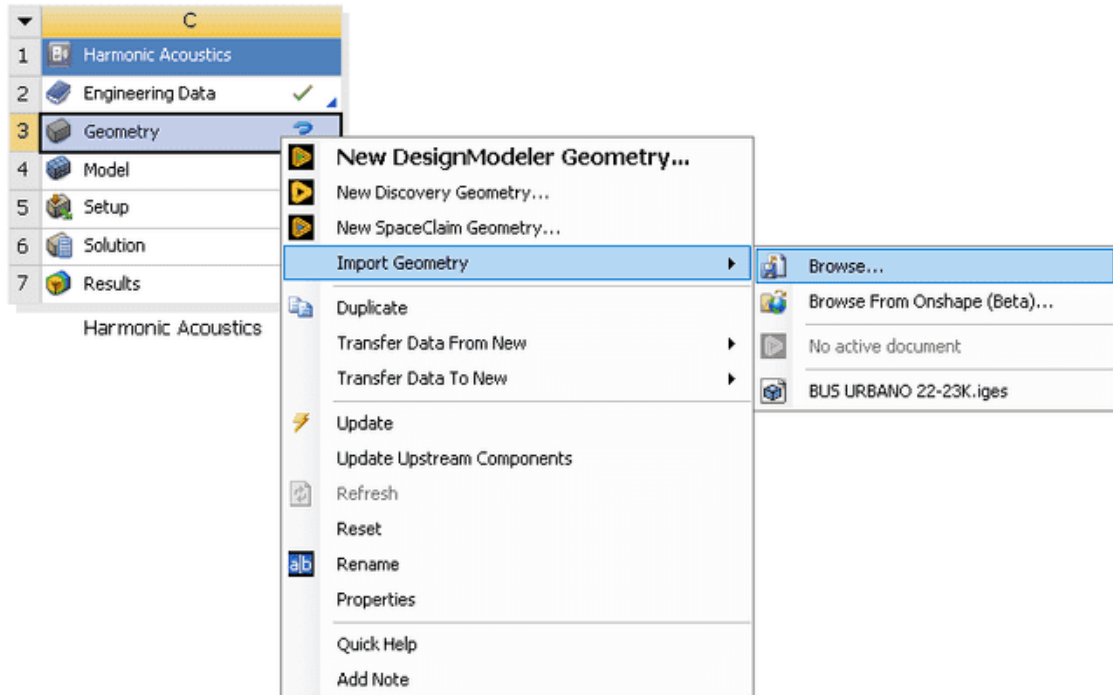


**Ilustración 3-29:** Selección de la herramienta para la simulación Harmonic Acoustic.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### Cargar el modelo CAD.

Para cargar el modelo en la ventana de Random Vibration, nos ubicaremos sobre las opciones de la simulación Modal ya que utilizaremos algunos datos de Engineering Data-Geometry, Geometry, Model, Setup y Solution las seleccionamos todas al mismo tiempo y arrastramos para poder crear una conexión entre las dos ventanas donde tendremos el mismo modelo con el mismo material, condiciones y restricciones para completar la simulación.



**Ilustración 3-30:** El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Iniciar la ventana de trabajo.

Para iniciar la herramienta Harmonic Acoustics realizaremos los mismos pasos descritos en la “Ilustración 3-7” realizado los pasos ejecutamos y esperamos.

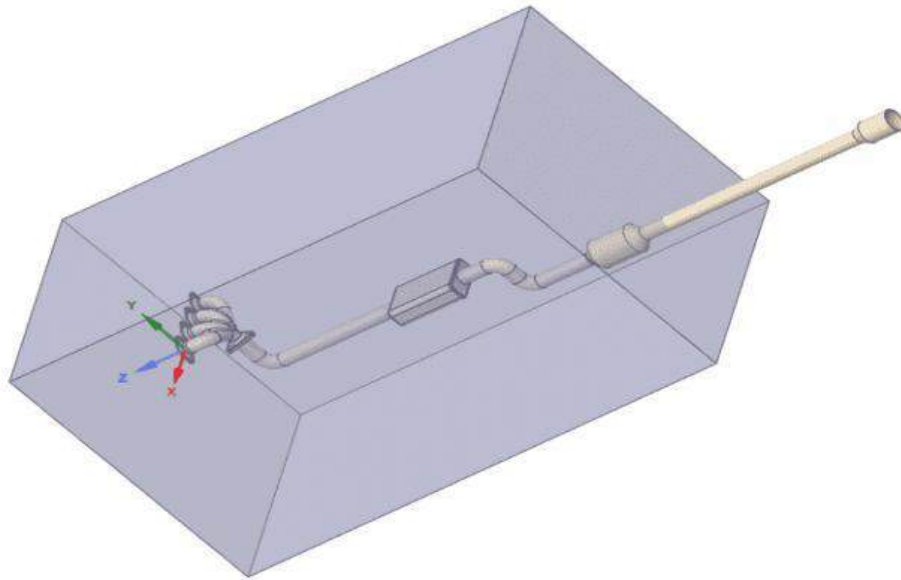
### Verificar si el modelo CAD se cargó correctamente.

Al ejecutar “Edit Geometry in DesignModeler...” debemos observar un visto de color verde justo en la opción de “Geometry”, caso contrario no se ejecutará una ventana emergente donde podremos observar el modelo CAD a simular.

### Encapsulamiento del modelo modificado con la herramienta SpaceClaim

Este es un paso importante dentro de esta simulación en la cual podemos encapsular el modelo modificado en una caja que simulara ser la carrocería del automóvil, donde podremos analizar el sonido producido dentro de este espacio de simulación, para realizar esto debemos iniciar la

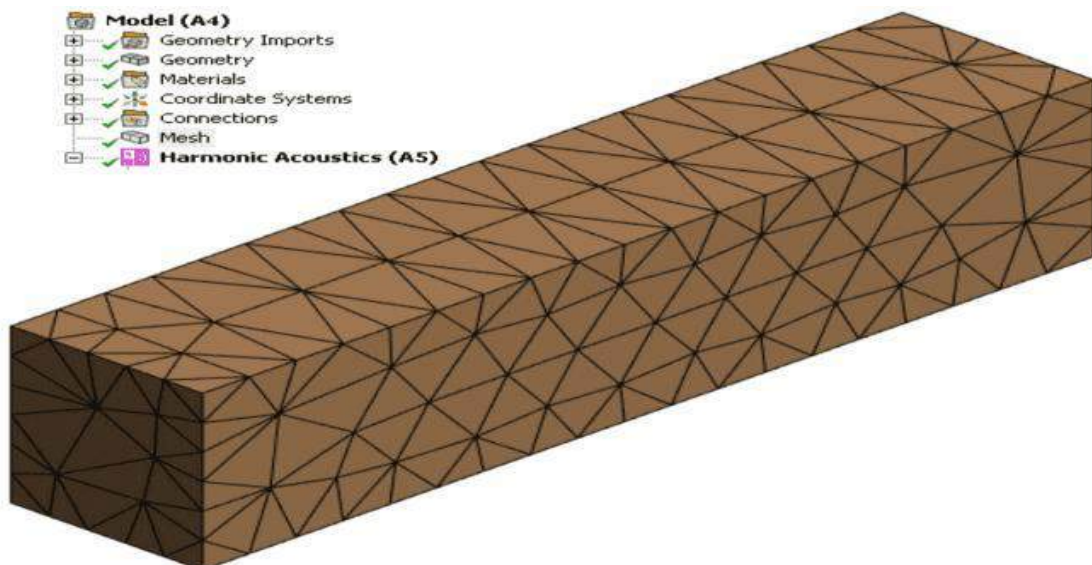
herramienta SpaceClaim una vez ejecutado el programa que es una extensión de ANSYS Workbench debemos cargar el modelo, dirigirnos a la opción de preparar y seleccionar la opción de recinto en el cual podemos encerrar el modelo una vez realizado debemos guardar el nuevo modelo con las nuevas configuraciones y cargar en la ventana de Workbench para realizar la simulación y encontrar los resultados requeridos.



**Ilustración 3-31:** El sistema encapsulado para realizar la simulación.

### Seleccionar método de mallado

Al ubicarnos en la opción Mesh podemos observar las opciones para obtener un mallado optimo, por las limitaciones del equipo utilizado para la simulación solo utilizaremos un mallado por default.

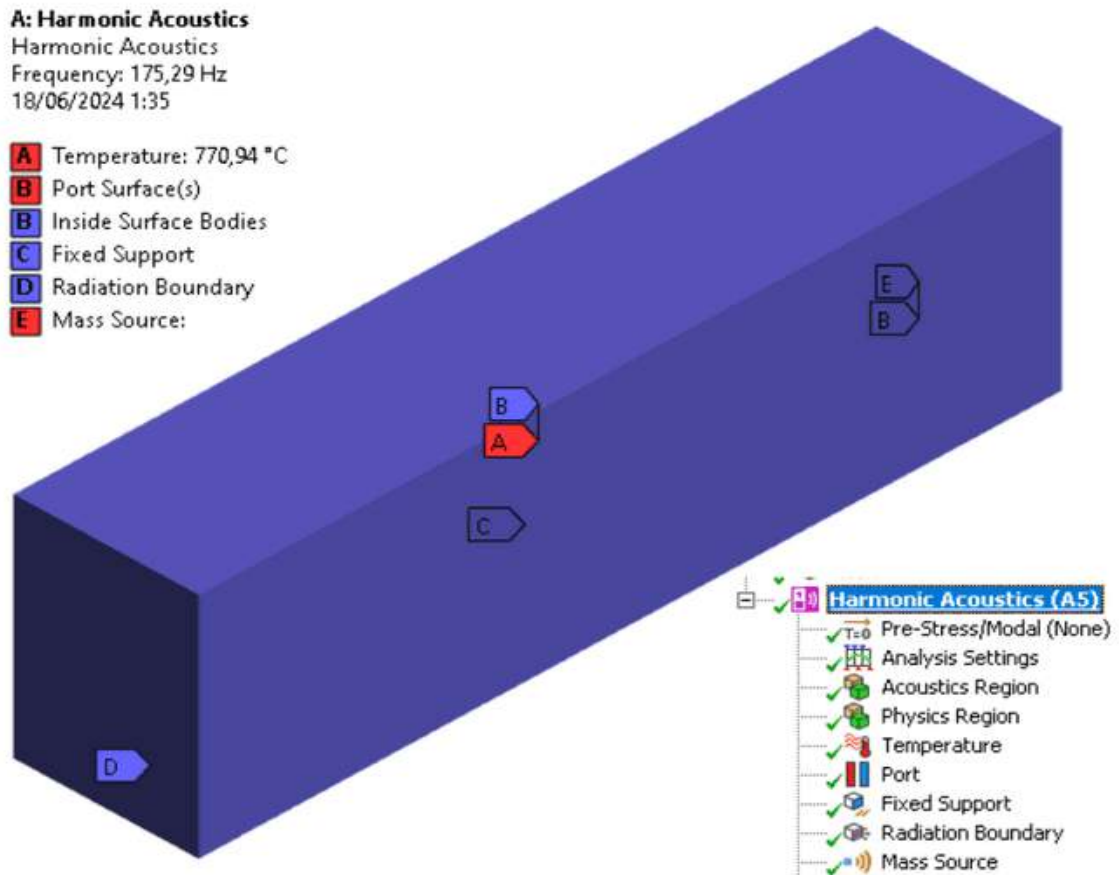


**Ilustración 3-32:** Modelo CAD mallado por default.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### Propiedades de simulación

Para la iniciar la simulación debemos colocar los anclajes correctamente puesto que esta herramienta depende de otra para que pueda generar los resultados requeridos las condiciones a las que está sujeta son las mismas de la simulación modal con esta herramienta podemos tabular los valores de aceleración dependiendo de su frecuencia, su aceleración aumenta a medida que la frecuencia aumenta como podemos ver en la Ilustración 3-33.

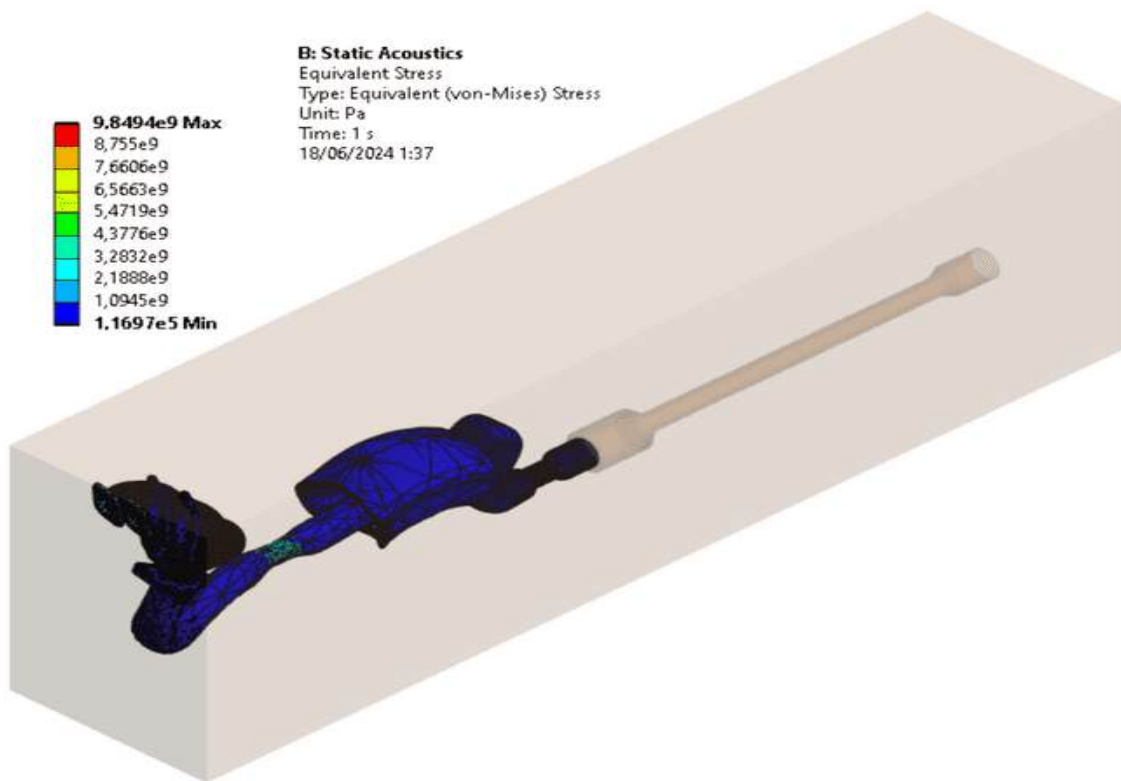


**Ilustración 3-33:** Puntos de interés para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Operaciones de simulación.

Si observamos que las condiciones anteriores se encuentran con un visto verde, nos ubicamos en la opción de Solution-Insert-Deformación-Total, realizado estos pasos podemos solucionar y repetir los pasos para encontrar valores de simulación como Deformación total, Equivalent Stress, Normal Elastic Strain, una vez realizado esto debemos esperar e interpretar los resultados que podemos observar en la Ilustración 3-34.



**Ilustración 3-34:** Resultados de la simulación Harmonic Acoustics.

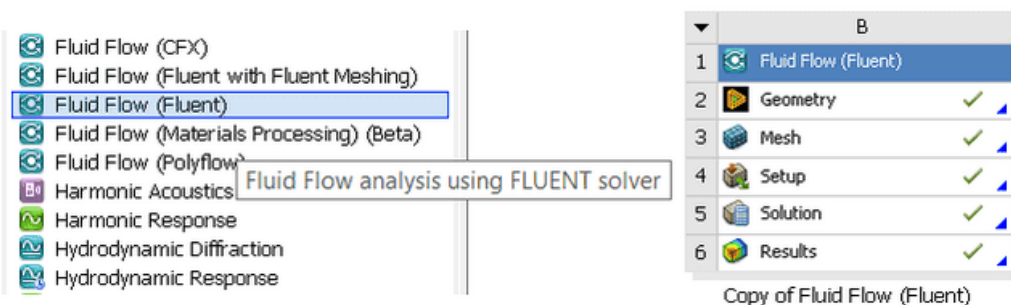
Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Simulación CFD con la herramienta Fluid Flow (Fluent)

Para realizar la simulación CFD debemos iniciar una nueva ventana de trabajo considerando que el modelo será el mismo con diferentes criterios a considerar ya que esta herramienta simula el modelo en 2D debido al gasto computacional será grande para realizarlo en 3D se optó por la opción más óptima con las condiciones que tenemos.

### Selección de la herramienta

Ejecutado el software en la barra de herramientas Workbench 2024 R1, buscamos la herramienta Fluid Flow (Fluent) y ejecutamos, es la que necesitaremos para continuar la simulación.

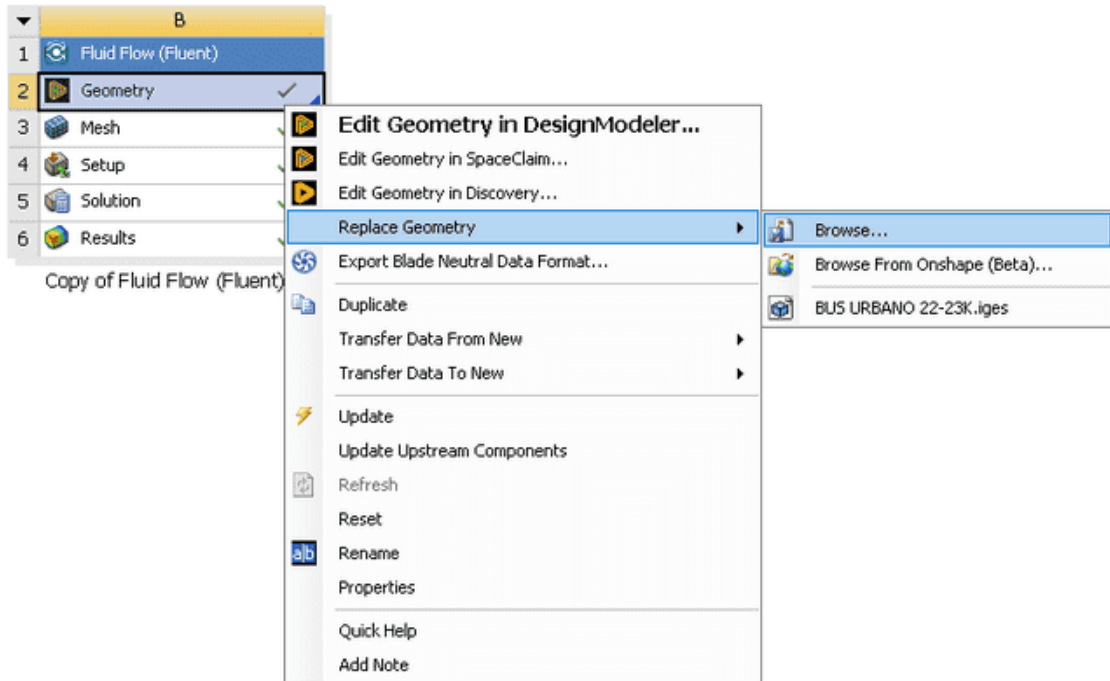


**Ilustración 3-35:** Selección de la herramienta para la simulación Fluid Flow (Fluent).

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Cargar el modelo CAD.

Para cargar el modelo en la ventana de Fluid Flow (Fluent), nos ubicaremos sobre las opciones de la simulación CFD los datos y condiciones que utilizaremos los detallaremos a continuación ya que en esta simulación debemos iniciar una ventana emergente para poder editar las condiciones para la simulación.

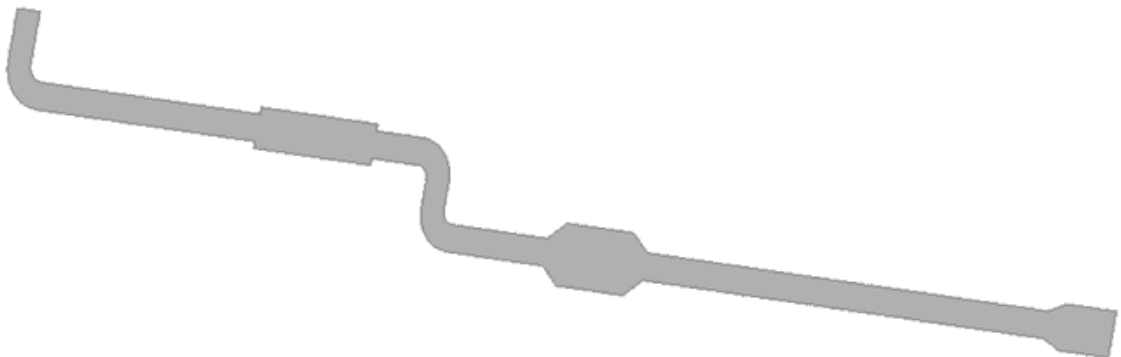


**Ilustración 3-36:** El modelo están cargado correctamente para continuar con la simulación CFD.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

### Verificar si el modelo CAD se cargó correctamente.

Sobre la opción “Geometry” debemos observar un visto de color verde, caso contrario no se observe el visto debemos iniciar la ventana y verificar si el modelo se encuentra en 2D como necesita este estudio.



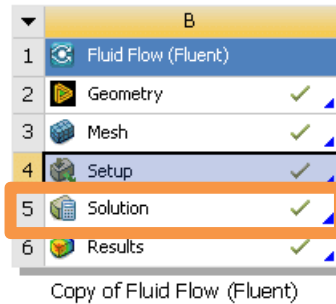
**Ilustración 3-37:** Modelo en 2D para realizar la simulación.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.



### Iniciar la ventana de trabajo.

Para iniciar la herramienta Fluid Flow (Fluent) debemos ubicarnos sobre la opción de Solution seleccionamos ejecutamos y esperamos que la herramienta inicie.

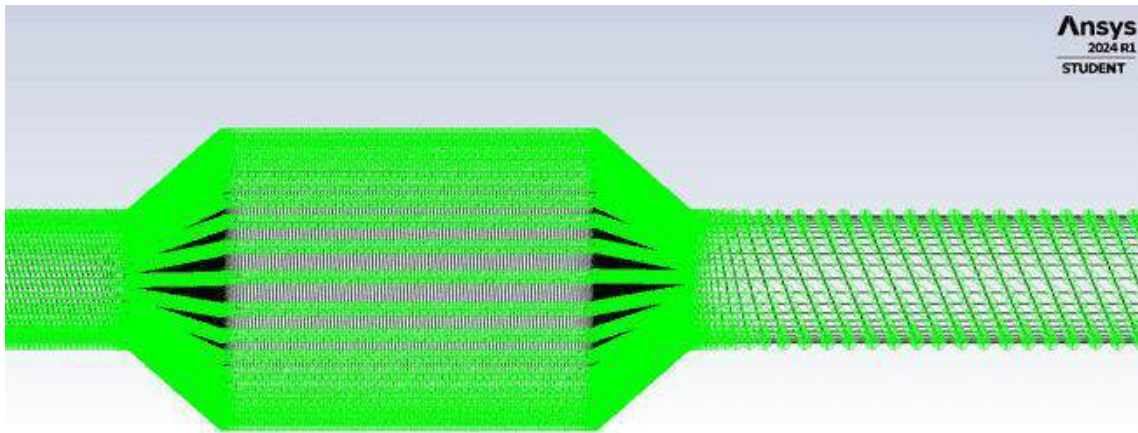


**Ilustración 3-38:** Ejecutar la herramienta para iniciar con la simulación CFD.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Seleccionar método de mallado.

Al ubicarnos en la opción Mesh podemos observar las opciones para obtener un mallado optimo, por las limitaciones del equipo utilizado para la simulación solo utilizaremos un mallado por default.



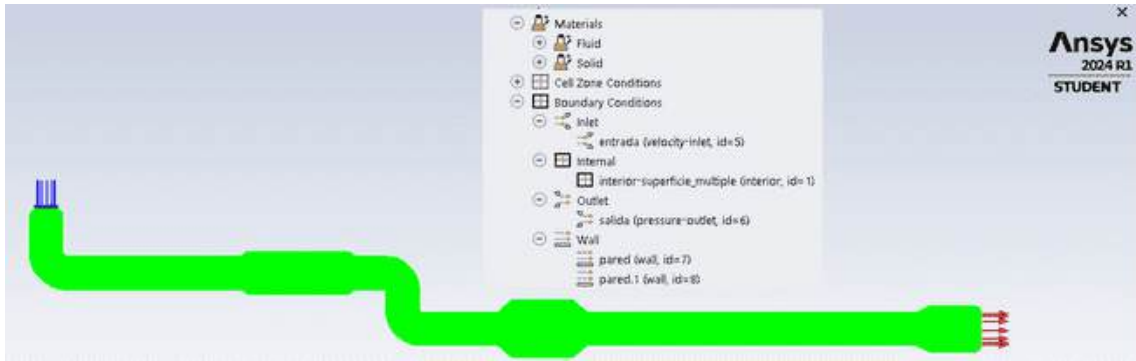
**Ilustración 3-39:** Modelo CAD mallado por default en la herramienta CFD.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Propiedades de simulación.

Para la iniciar la simulación debemos definir correctamente las condiciones ubicarnos en la parte izquierda de ventana de herramientas debemos definir correctamente en los contornos de entrada, contorno superior, contorno inferior y salida por la cual el fluido en este caso aire pasara por todo el diseño definidos correctamente podemos ejecutar y seleccionar los resultados requeridos para el análisis como se observa en la Ilustración 3-40.



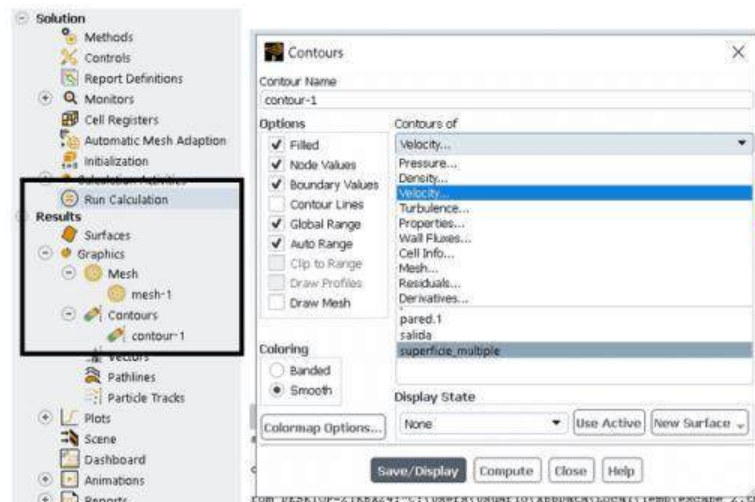


**Ilustración 3-40:** Condiciones de simulación CFD.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

### Operaciones de simulación.

Si observamos que las condiciones y parámetros para la simulación son correctas podemos ubicarnos en “Run Calculation” para iniciar con la simulación, dentro de la ventana de Resultados podemos encontrar varias opciones para observar los resultados como se muestra en la Ilustración 3-41.

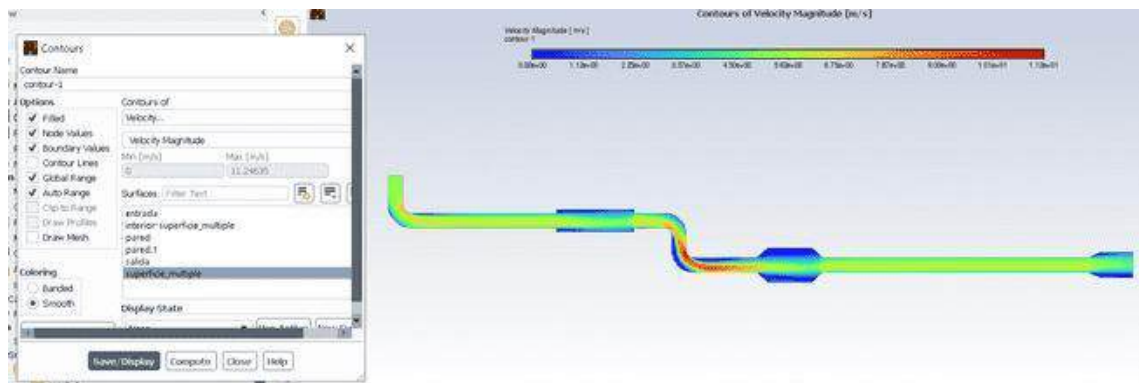


**Ilustración 3-41:** Selección de resultados de la simulación CFD.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

Una vez seleccionado los resultados requeridos para el análisis podemos observar los resultados ejecutando en la opción de Save/Display como nos muestra la Ilustración 3-42, que nos muestra

los valores de velocidad del flujo o largo de toda la superficie del sistema interna de escape.



**Ilustración 3-42:** Análisis finalizado e interpretación de resultados.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo, se interpretará los resultados obtenidos de la fundamentación de la metodología NVH en el sistema de gases de escape descritos anteriormente, además se negará o afirmará la Hipótesis de investigación.

#### 4.1. Fase 3: Post Procesamiento

Los resultados de los presentes escenarios van desde un modelo referencial. Estos corresponden a los siguientes diseños modificados:

- Diseño 1: Sistema de gases de escape principal.
- Diseño 2: Sistema de gases de escape con modificación de dos salidas.
- Diseño 3: Sistema de gases de escape con modificación de dos salidas con material distinto en todo el sistema y aumento de anclajes.

De acuerdo con la metodología NVH, esta nos permite identificar las vibraciones, ruido y asperezas en el sistema con distintos métodos de simulación.

##### 4.1.1. Resultados Vibraciones diseño 1

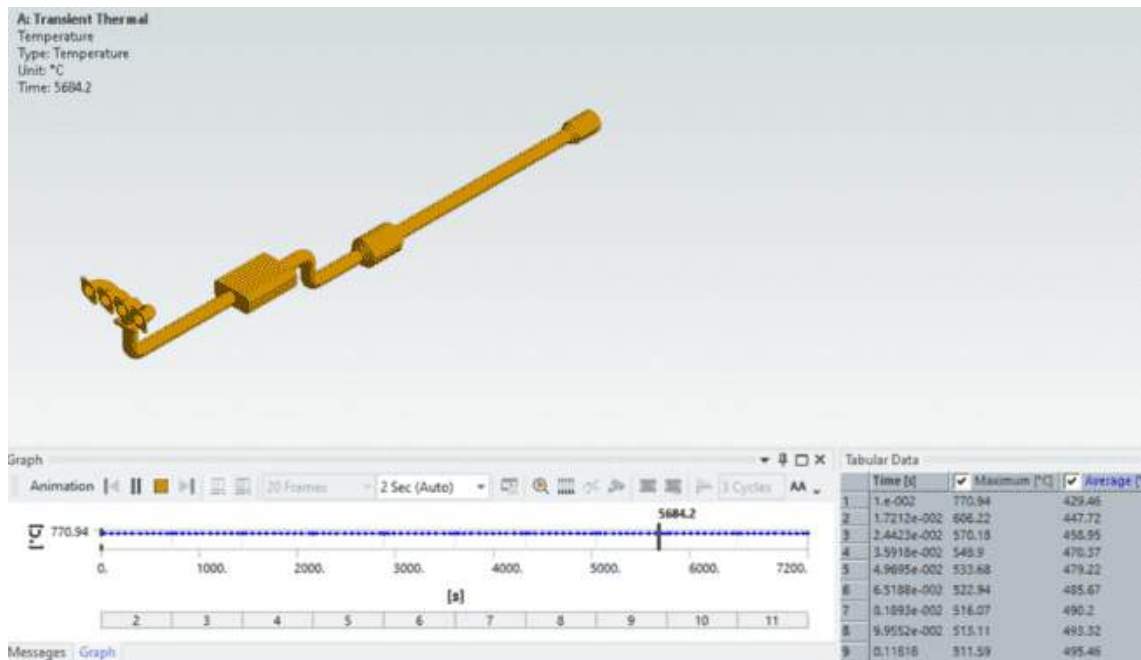
En el diseño principal, donde identificamos que el modelo es estándar, demostraremos los resultados encontrados con la simulación CAE aplicando la metodología NVH.

##### 4.1.1.1. *Transient Thermal*

El Transient Thermal en la fase de post procesamiento nos ayuda a identificar si existe una deformación del sistema de gases de escape utilizando la temperatura a la que fluyen los gases por todo el sistema. La aplicación de este nos permite obtener los resultados de la Ilustración 4-1, donde el sistema empieza un flujo inicial de 200°C y fluye por 2 horas hasta alcanzar los 800°C que es la temperatura máxima de los gases de escape y con esto verificar si existió deformación o no en el sistema.

Con la simulación realizada se puede verificar que en el tiempo que tiene que llegar a esa temperatura se puede apreciar un valor mínimo en el tiempo indicado mostrando que tiene temperaturas menores al anterior diseño y un valor máximo de 770,74°C el cual es la temperatura

máxima a la que logra alcanzar a lo largo de las 2 horas, y presentando un aumento ligero de temperatura como se muestra en la ilustración 4-1.

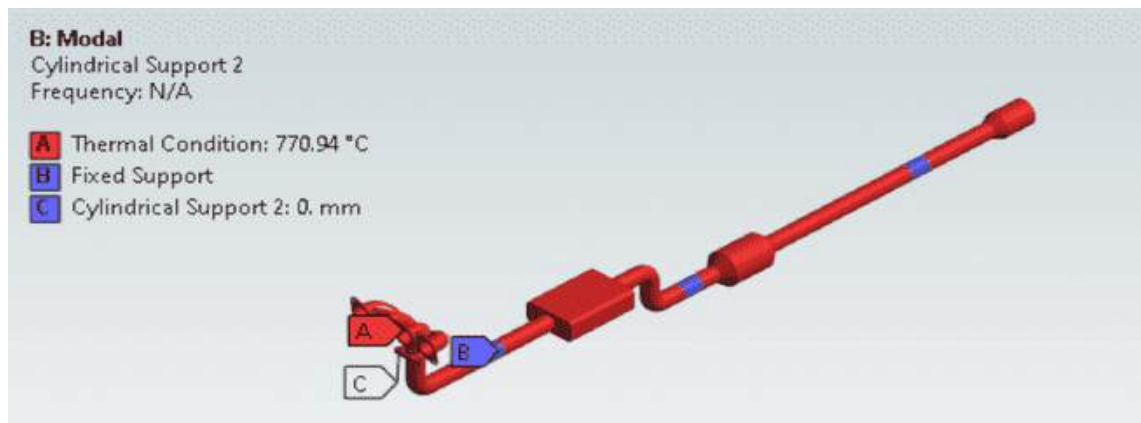


**Ilustración 4-1:** Alcance de temperatura en el diseño modificado con dos salidas.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

#### 4.1.1.2. Análisis de Vibración modal

Con la temperatura aplicada en el sistema de 770,94°C que es la temperatura máxima, ubicando los respectivos anclajes en el sistema como se muestra en la Ilustración 4-2, la simulación nos muestra los siguientes resultados de vibración obtenidos en cada uno de los modos en los cuales se puede verificar cual es la deformación que tiene y a que frecuencia alcanza la deformación.




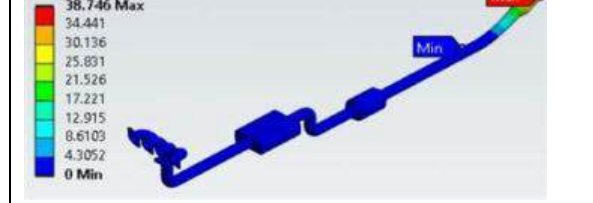
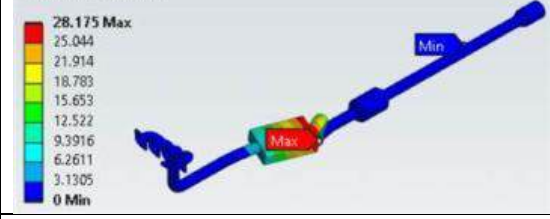
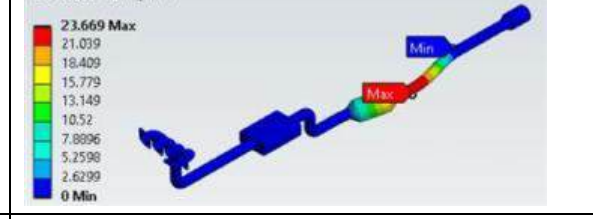
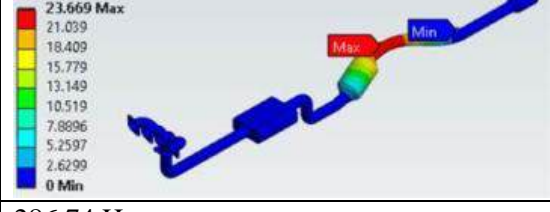
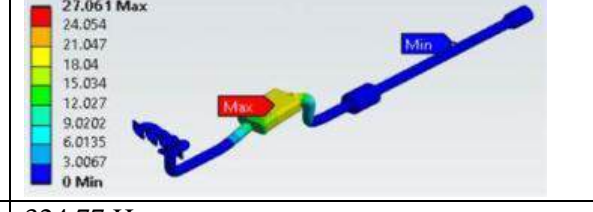
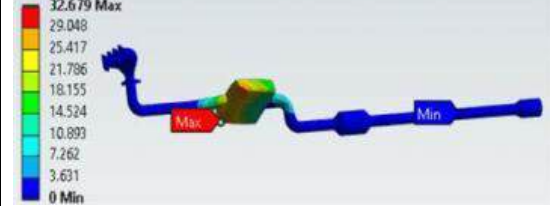
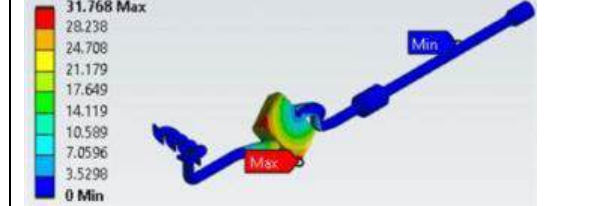
**Ilustración 4-2:** Condiciones en el sistema para la simulación.

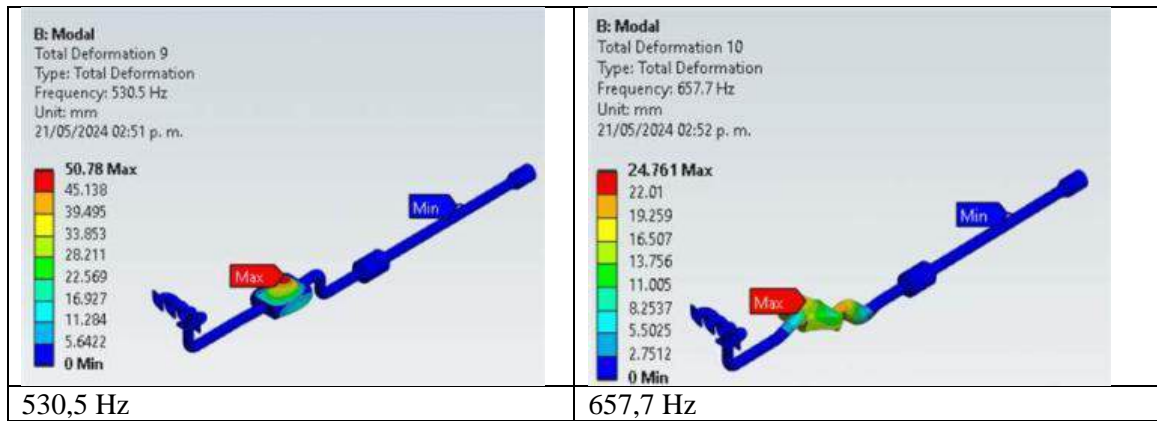
**Realizado por:** Caiza B; Salazar D., 2024.

## Deformaciones con respecto a la vibración del sistema

La tabla 4-1 ilustra la simulación de deformación del sistema de gases de escape, según la frecuencia de vibración varía en cada punto en que se encuentra.

**Tabla 4-1:** Modos de deformación por frecuencia.

<p><b>B: Modal</b> Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 189.59 Hz Unit: mm 21/05/2024 01:32 p. m.</p>  <p>38.746 Max 34.441 30.136 25.831 21.526 17.221 12.915 8.6103 4.3051 0 Min</p>	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 189.6 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:45 p. m.</p>  <p>38.746 Max 34.441 30.136 25.831 21.526 17.221 12.915 8.6103 4.3052 0 Min</p>
<p>189,59 Hz</p>	<p>189,6 Hz</p>
<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 190.06 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:47 p. m.</p>  <p>28.175 Max 25.044 21.914 18.783 15.653 12.522 9.3916 6.2611 3.1305 0 Min</p>	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 286.69 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:48 p. m.</p>  <p>23.669 Max 21.039 18.409 15.779 13.149 10.52 7.8896 5.2598 2.6299 0 Min</p>
<p>190,6 Hz</p>	<p>286,69 Hz</p>
<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 5 Type: Total Deformation Frequency: 286.74 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:48 p. m.</p>  <p>23.669 Max 21.039 18.409 15.779 13.149 10.519 7.8896 5.2597 2.6299 0 Min</p>	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 6 Type: Total Deformation Frequency: 324.77 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:49 p. m.</p>  <p>27.061 Max 24.054 21.047 18.04 15.034 12.027 9.0202 6.0135 3.0067 0 Min</p>
<p>286,74 Hz</p>	<p>324,77 Hz</p>
<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 7 Type: Total Deformation Frequency: 464.63 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:50 p. m.</p>  <p>32.679 Max 29.048 25.417 21.786 18.155 14.524 10.893 7.262 3.631 0 Min</p>	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 8 Type: Total Deformation Frequency: 506.9 Hz Unit: mm 21/05/2024 02:51 p. m.</p>  <p>31.768 Max 28.238 24.708 21.179 17.649 14.119 10.589 7.0596 3.5298 0 Min</p>
<p>464,63 Hz</p>	<p>506,09 Hz</p>



Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

Con los resultados obtenidos se observa un cambio de deformación en los puntos y modos según aumenta la frecuencia como se muestra en la Ilustración 4-3.

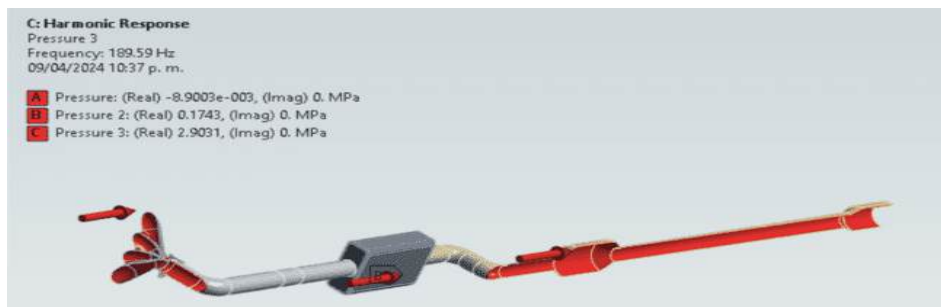


**Ilustración 4-3:** Modos de deformación a medida de aumento de frecuencia

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.1.3. Análisis Harmonic Response

En el análisis armónico para este sistema se utiliza las presiones de entrada, media y de salida como se muestra en la ilustración 4-4. Mediante esto y los otros datos obtenidos anteriormente se realiza la simulación de la deformación total.

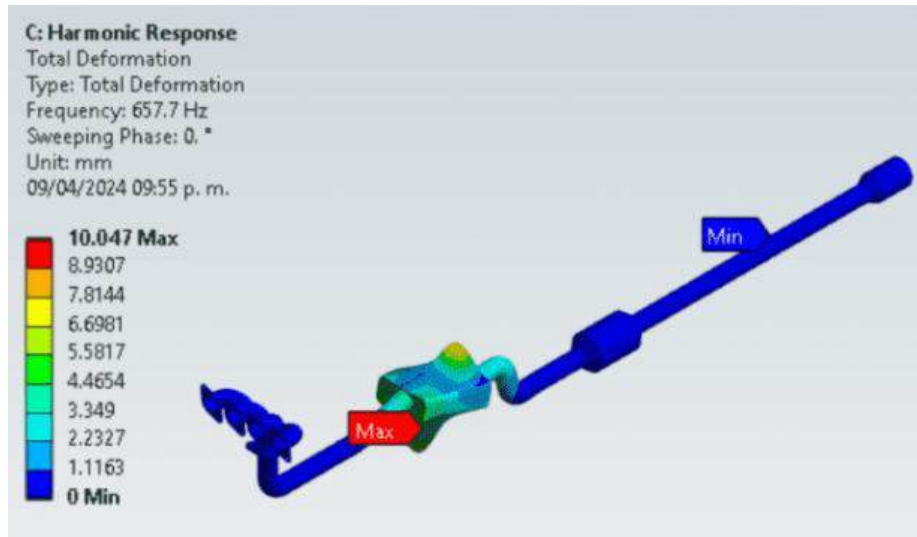


**Ilustración 4-4:** Deformación total del sistema por presión de gases y frecuencia.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

## Deformación total

En el análisis Harmonic response se verifica la deformación total mediante la presión que circula por el sistema de gases de escape y los valores máximos y mínimos de vibración obtenidos en el análisis modal, a los cuales estos datos obtenidos nos dan como resultado una deformación total en el catalizador a su máxima frecuencia de 657,7 Hz, como se muestra en la ilustración 4-5.

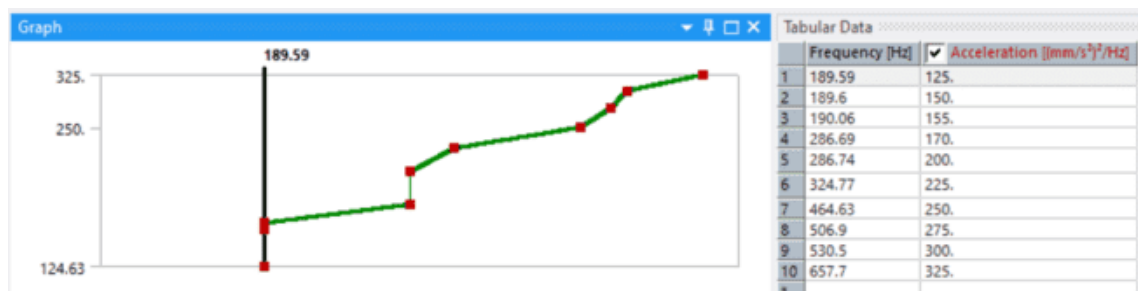


**Ilustración 4-5:** Deformación total del sistema por presión de gases y frecuencia.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

### 4.1.1.4. Análisis Random Vibration

Con los datos del análisis modal que son datos de frecuencia se utiliza una tabla de datos de frecuencia y aceleración, con un intervalo de mínimo de aceleración, según la ilustración 4-6.



**Ilustración 4-6:** Datos de frecuencia y aceleración ingresados en ANSYS para la simulación

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

Con los datos presentes se pueden realizar estas simulaciones para obtener una deformación con afectación de la variable de frecuencia y así también se obtiene una deformación en la dirección requerida y obtener un valor máximo y un valor mínimo, en el que no afecta todo el sistema, como muestra la ilustración 4-7.



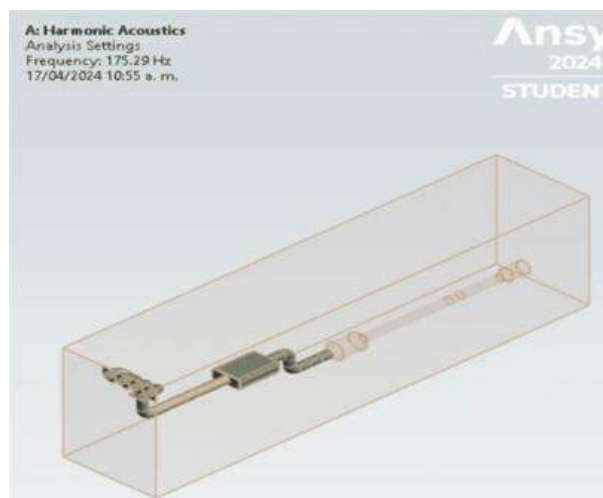


**Ilustración 4-7:** Deformación direccional en base a las variables de frecuencia y aceleración

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.1.5. Análisis Harmonic Acoustics

Se realizó la simulación para verificar otro modo utilizando frecuencias y verificar el comportamiento acústico del cuerpo analizado, ingresando los datos máximos y mínimos de frecuencia para el análisis dado estos datos se procede a seleccionar las regiones en el cual se realiza el análisis acústico, esto en forma de una caja que abarque todo el sistema de gases de escape como se muestra en la ilustración 4-8.

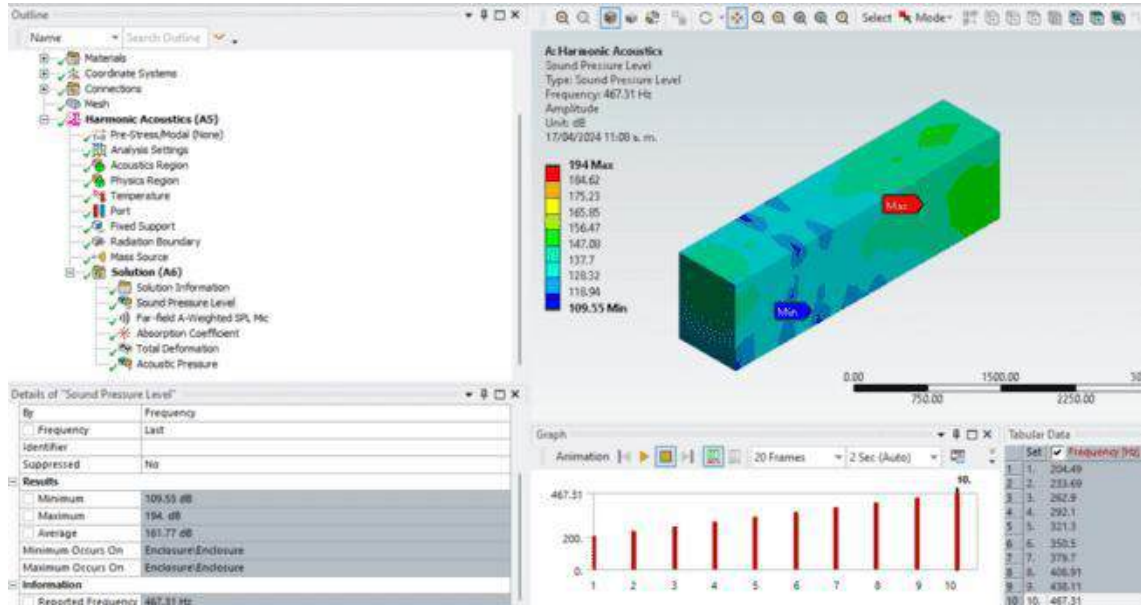


**Ilustración 4-8:** Caja para el análisis acústico

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024



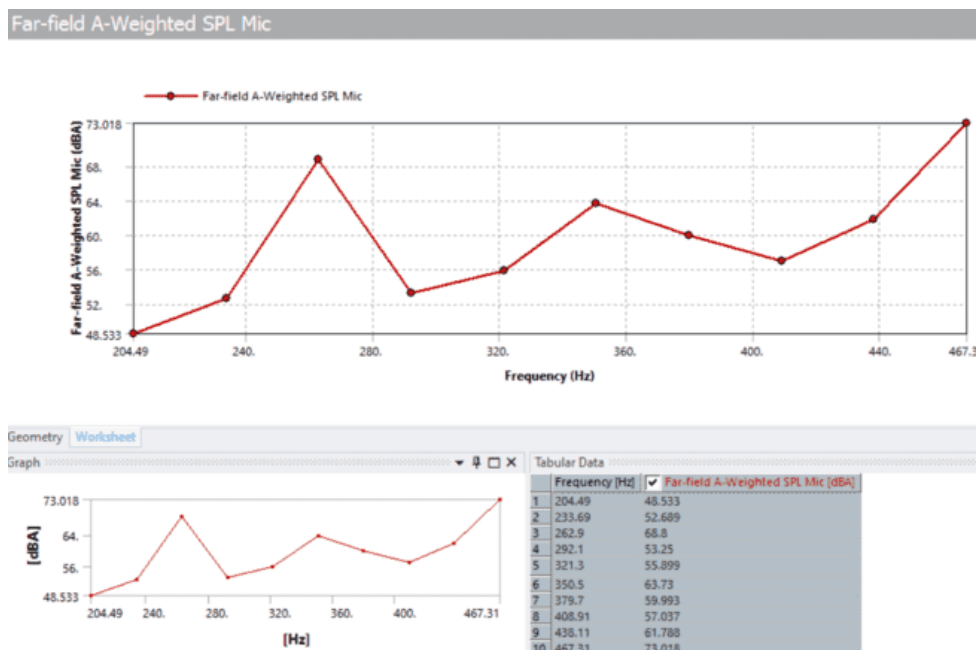
En los parámetros adicionales se ingresan datos como la temperatura los soportes y los límites del sistema y se realiza el análisis. Estos datos ingresados se obtienen los resultados de niveles de presión del sonido con un mínimo de 109,55 dB y un máximo de 194 dB a una frecuencia máxima de 467,31 Hz, como muestra la ilustración 4-9.



**Ilustración 4-9:** Análisis de niveles de sonido

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

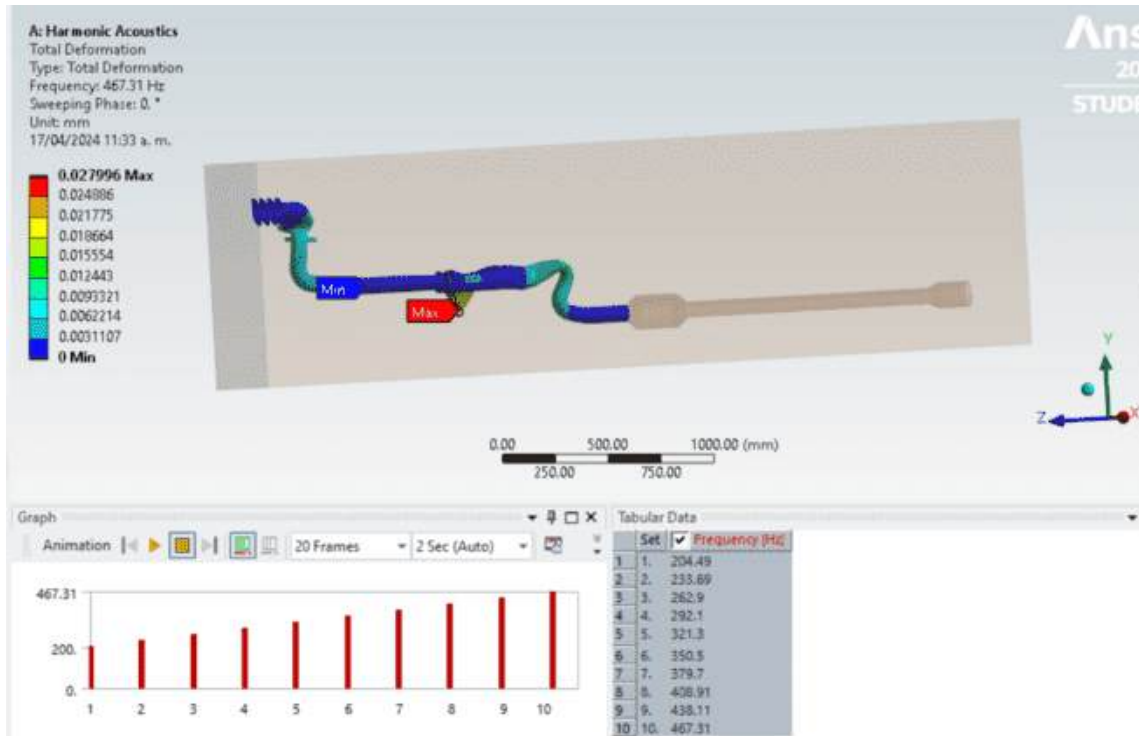
Se realiza el análisis de ruido utilizando la herramienta “Far-Field A-Weighted SPL Mic” que nos permite realizar el análisis de ruido a medida que cambia la frecuencia, así como se muestra en la ilustración 4-10.



**Ilustración 4-10:** Análisis de ruido mediante frecuencia

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

Para finalizar el análisis se muestra la deformación total, donde hay un valor mínimo de 0 en el que no hay deformación y un valor máximo en el catalizador  $2.7996 \times 10^{-2}$  mm, en el que no es una deformación exagerada que llegue a presentar ruptura en el sistema de gases de escape, como muestra en ilustración 4-11.



**Ilustración 4-11:** Deformación total

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024

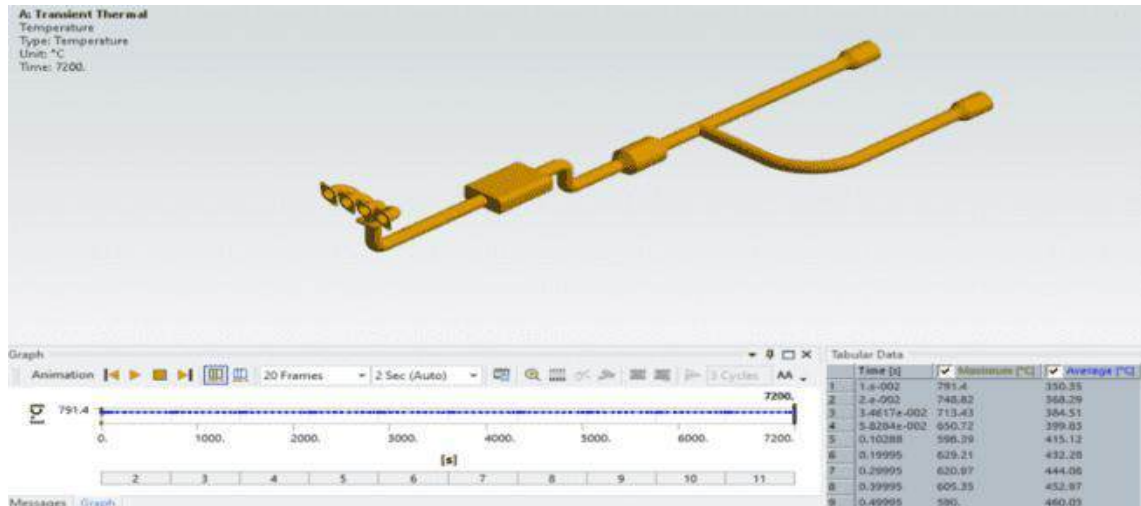
#### 4.1.2. Resultados Vibraciones diseño 2

Para el siguiente diseño se realizaron modificaciones a las que aplicaremos la misma metodología de análisis, y observar el comportamiento producido con estos cambios en el diseño.

##### 4.1.2.1. Transient Thermal

La aplicación de este modo nos permite obtener los resultados de la Ilustración 4-12, donde el sistema empieza un flujo inicial de 200°C y fluye por 2 horas hasta alcanzar los 800°C que es la temperatura máxima de los gases de escape y con esto verificar si existió cambios o afectaciones en el diseño modificado.

Con la simulación realizada se puede verificar que en el tiempo que tiene que llegar a esa temperatura se puede apreciar un valor máximo en el tiempo de 791,4°C como se muestra en la ilustración 4-12.

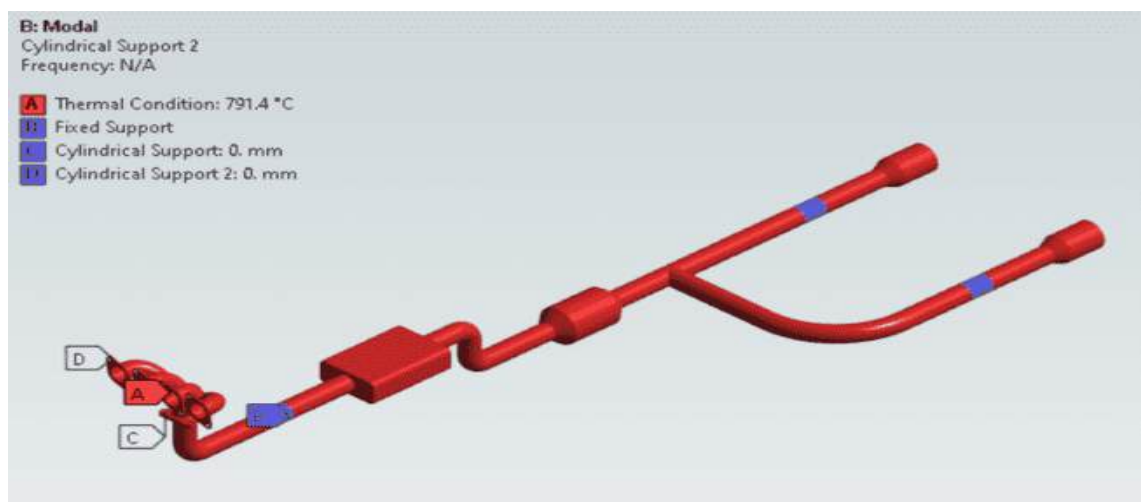


**Ilustración 4-12:** Temperatura en el diseño modificado.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024.

#### 4.1.2.2. Análisis de vibración modal

Aplicando los cambios en el diseño se implementa una temperatura aplicada en el sistema de 791,4°C que es la temperatura máxima, ubicando los respectivos anclajes en el sistema como se muestra en la Ilustración 4-13, la simulación nos muestra los siguientes resultados de vibración obtenidos en cada uno de los modos en los cuales se puede verificar cual es la deformación que tiene y a que frecuencia alcanza la deformación.



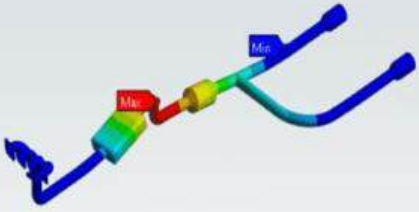
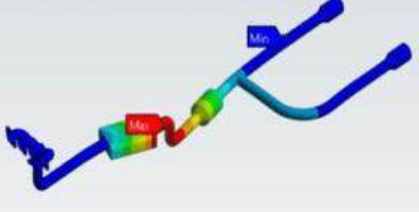
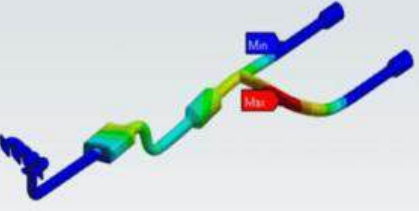
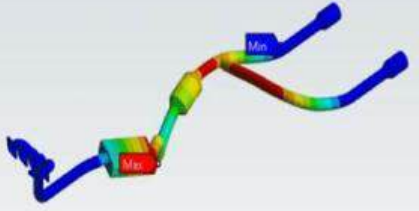
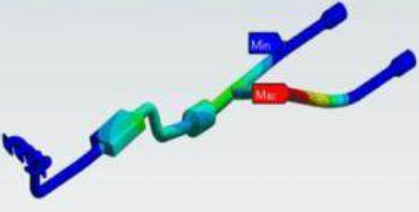
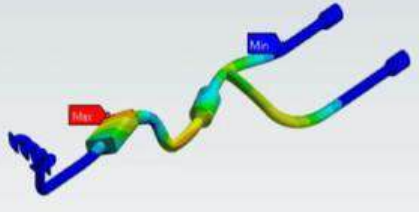
**Ilustración 4-13:** Condiciones en el sistema para la simulación.

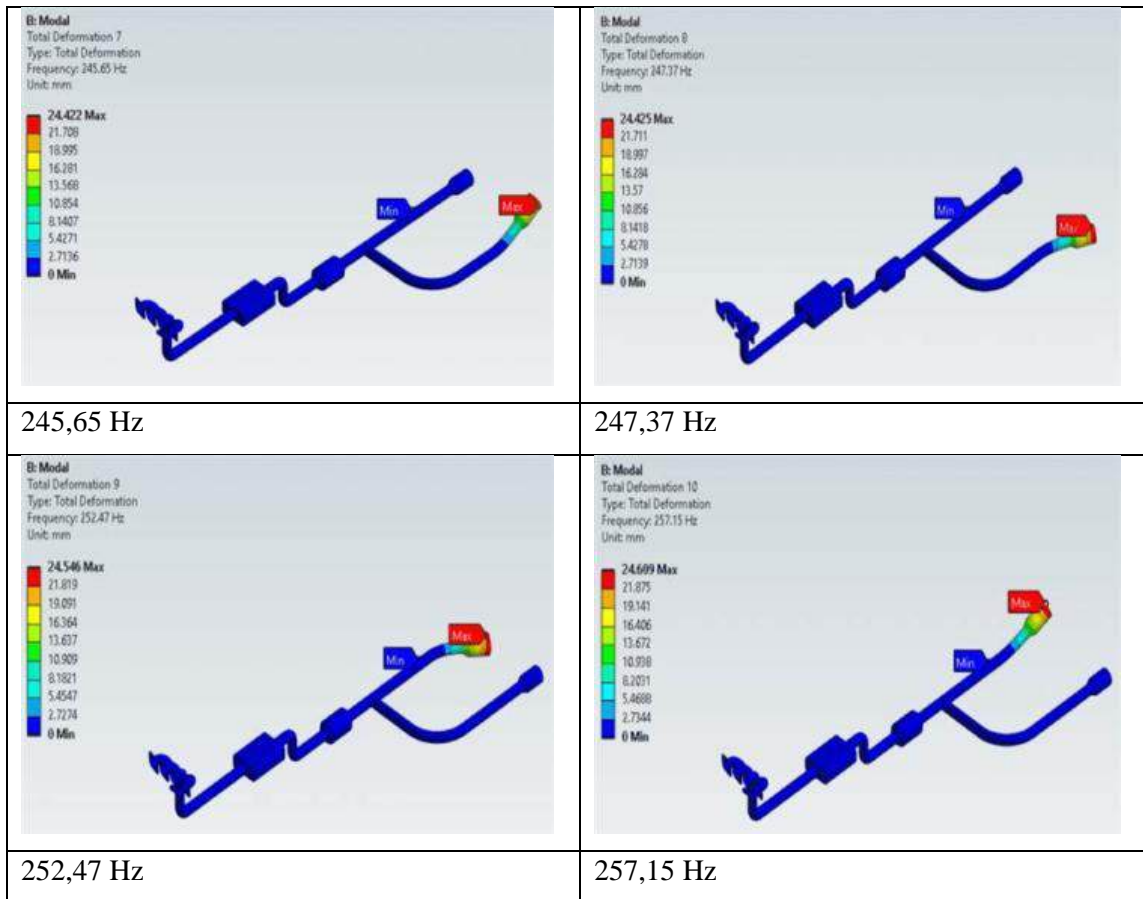
Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

## Deformaciones con respecto a la vibración del sistema

La tabla 4-2 ilustra la simulación de los modos de las deformaciones del sistema de gases de escape con una modificación realizada, con el condicionamiento que tenga el mismo material del diseño anterior, según la frecuencia de vibración varía en cada punto en que se encuentra.

**Tabla 4-2:** Modos de deformación por frecuencia en el diseño modificado con el mismo material.

<p><b>B: Modal</b> Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 62.072 Hz Unit: mm</p> <p>9.5342 Max 8.4749 7.4155 6.3561 5.2960 4.2374 3.1781 2.1187 1.0594 0 Min</p> 	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 68.101 Hz Unit: mm</p> <p>10.288 Max 9.1449 8.0018 6.8587 5.7155 4.5724 3.4293 2.2862 1.1431 0 Min</p> 
62,072 Hz	68,101 Hz
<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 151.01 Hz Unit: mm</p> <p>9.6896 Max 8.613 7.5364 6.4597 5.3831 4.3065 3.2299 2.1532 1.0766 0 Min</p> 	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 153.78 Hz Unit: mm</p> <p>7.9375 Max 7.056 6.1736 5.2917 4.4097 3.5278 2.6459 1.7639 0.88195 0 Min</p> 
151,01 Hz	153,78 Hz
<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 5 Type: Total Deformation Frequency: 213.6 Hz Unit: mm</p> <p>12.033 Max 10.696 9.3592 8.0222 6.6851 5.3481 4.0111 2.6741 1.337 0 Min</p> 	<p><b>B: Modal</b> Total Deformation 6 Type: Total Deformation Frequency: 244.7 Hz Unit: mm</p> <p>9.9313 Max 8.8278 7.7243 6.6209 5.5174 4.4139 3.3104 2.207 1.1035 0 Min</p> 
213,6 Hz	244,7 Hz



Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

Con los resultados obtenidos se aprecia que las deformaciones disminuyen según aumento de la frecuencia que las vibraciones afectan menos al sistema con el diseño modificado y es un beneficio la modificación presentada tal como se muestra en la Ilustración 4-14.



**Ilustración 4-14:** Deformación a medida de aumento de frecuencia en el nuevo diseño.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024

### 4.1.2.3. Análisis Harmonic Response

Para este sistema se modificó las salidas de gases, en las que se aumentó una salida para reducir la vibración, usando las mismas presiones de entrada, media y de salida y ver cuál se comporta el sistema con la respectiva modificación, como se muestra en la ilustración 4-15. Mediante esto y los otros datos obtenidos anteriormente se realiza la simulación de la deformación total.

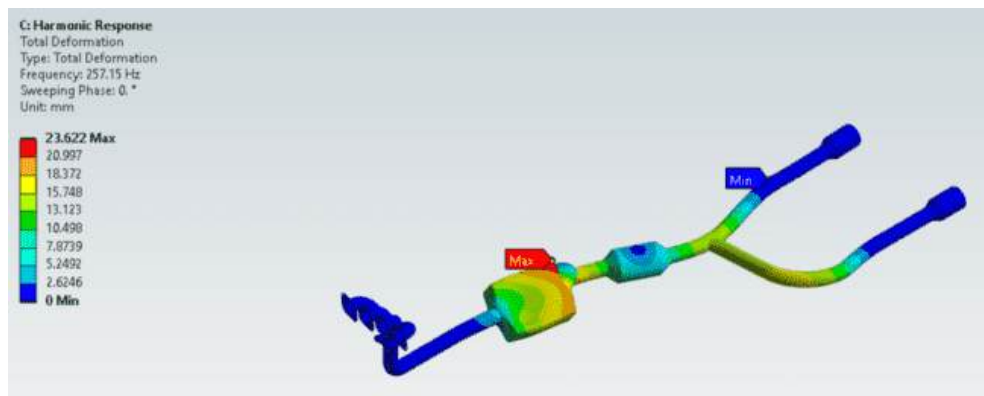


**Ilustración 4-15:** Presión de gases y frecuencia en el sistema modificado

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

### Deformación total

La deformación con las presiones mencionadas por el que circulan por el nuevo sistema de escape modificado e indicando cuál es la frecuencia máxima y mínima de vibración obtenidas por el análisis modal, nos da una solución distinta al diseño principal, la deformación se presenta en el catalizador y en la tubería de salida de los gases, porque, a la falta de anclaje, no permite que estén bien sujetos al vehículo y esto tenga una deformación máxima de 23,622 mm a 257,15 a la que está el sistema.



**Ilustración 4-16:** Deformación total del sistema modificado por presión de gases y frecuencia

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024



#### 4.1.2.4. Análisis Random Vibration

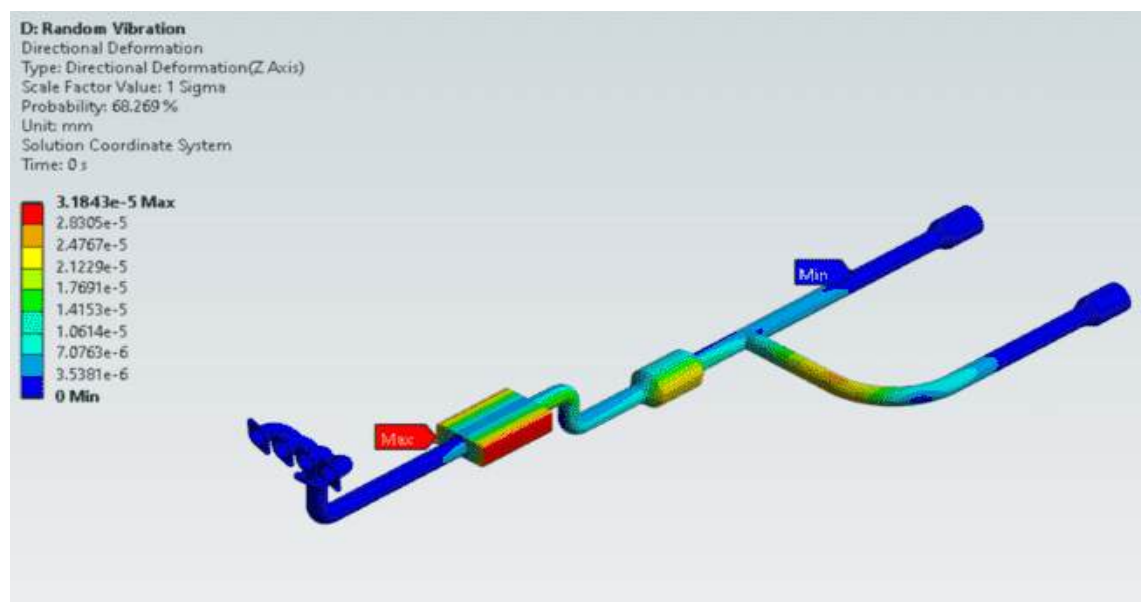
Para el análisis vibracional en este caso se utiliza uno de los principales datos que ya se obtuvo en el análisis modal de frecuencia, estos datos utilizando en una tabla para el nuevo diseño, haciendo la relación de frecuencia con la aceleración estos con un intervalo sugerido, como se muestra en la ilustración 4-17



**Ilustración 4-17:** Datos de frecuencia y aceleración ingresados en ANSYS para la simulación en el nuevo diseño

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024

Ya con los respectivos datos se realiza la siguiente simulación que nos permita obtener las deformaciones y cuál es la afectación a medida que actúa la frecuencia y también observar cual es el comportamiento de la deformación en una dirección que fluye los gases y así verificando que tenemos valores mínimos lo que se observa que no se presenta mayor deformación con el nuevo sistema, como se muestra en la ilustración 4-18

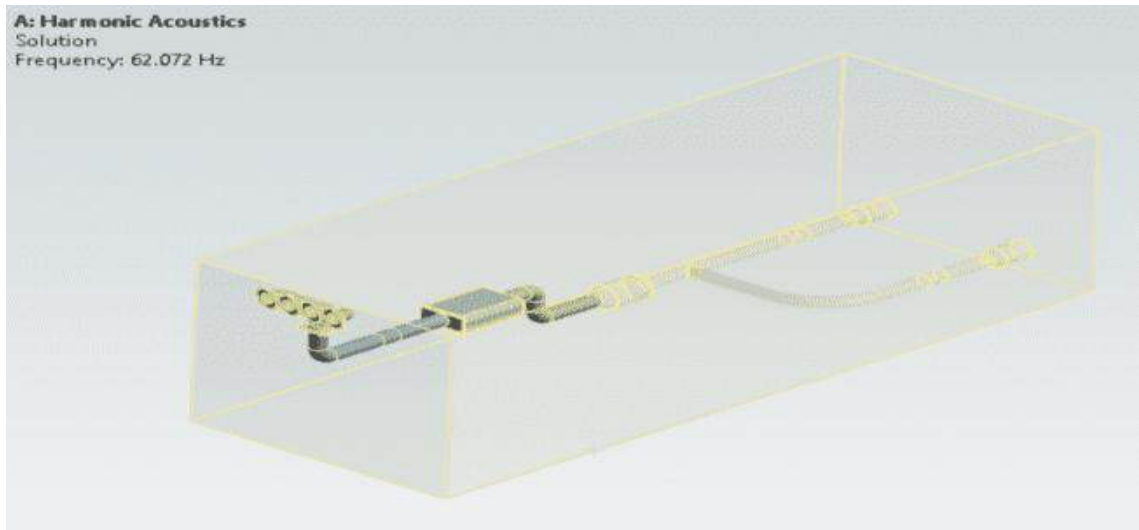


**Ilustración 4-18:** Deformación direccional en base a las variables de frecuencia y aceleración con el nuevo diseño.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.2.5. Análisis Harmonic Acoustics

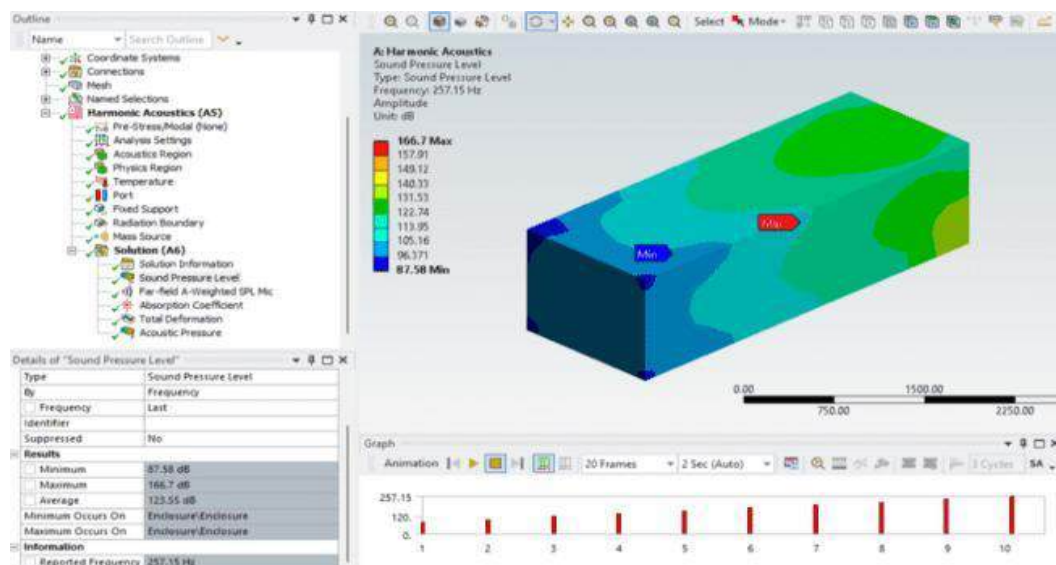
Un método para la verificación del comportamiento acústico en el sistema modificado es el análisis armónico acústico el cual nos permite ingresar los datos de frecuencia máximos y mínimos para así llegar al análisis acústico que se van a obtener simulando en una caja el sistema modificado tal y como se muestra en la ilustración 4-19.



**Ilustración 4-19:** Caja para el análisis acústico con el diseño nuevo

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024

Dentro de los parámetros ingresados para la simulación son la temperatura, anclajes y los límites de la caja en el cual se analiza el sistema modificado, con los datos observamos resultados del sonido con un mínimo 87,58 dB y un máximo de 166,7 dB a una frecuencia de 257,15 Hz, como se muestra en la ilustración 4-20, estos valores siendo un resultado favorable al anterior diseño

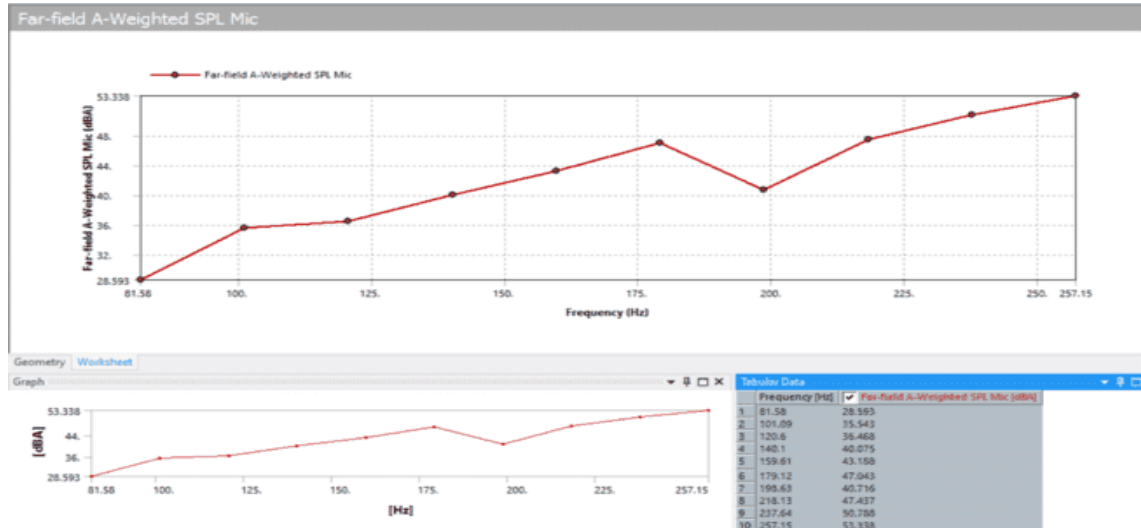


**Ilustración 4-20:** Análisis de niveles de sonido en el diseño modificado

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024



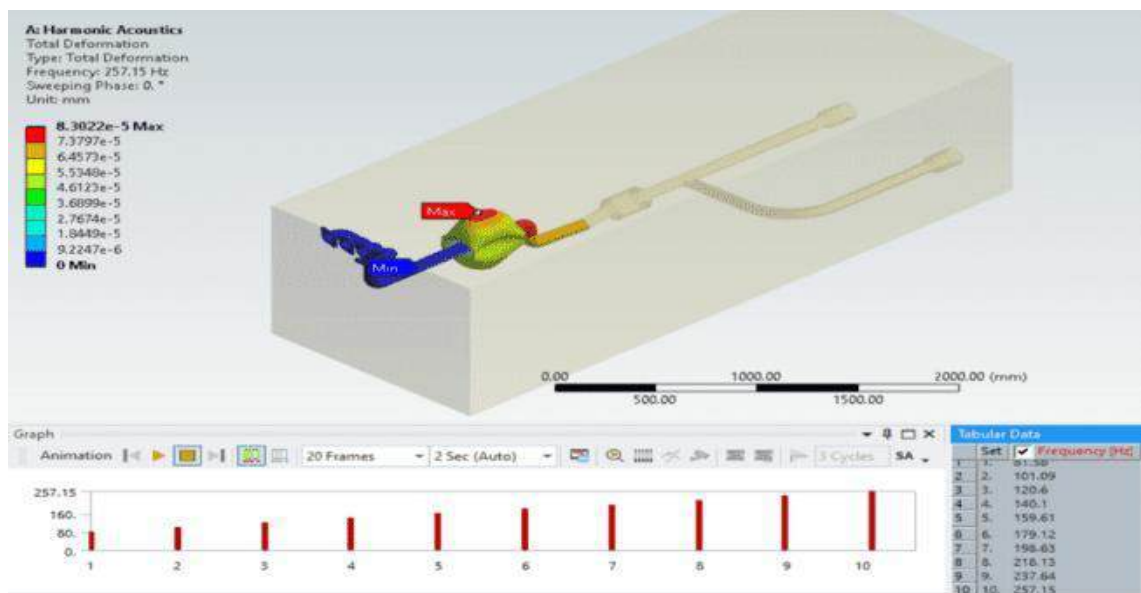
Según el análisis de ruido utilizando la herramienta “Far-Field A-Weighted SPL Mic” que nos permite realizar el análisis de ruido a medida que varía la frecuencia, para este caso con el nuevo diseño modificado se observa que tiene menor afectación acústica el cual se encuentran dentro de los parámetros establecido de los decibeles, así como se muestra en la ilustración 4-21.



**Ilustración 4-21:** Análisis de ruido mediante frecuencia en el nuevo diseño

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

Con el último análisis se puede comprobar cuál es la deformación total, que nos arroja como resultado valores de 0 como mínimo en el sistema y un valor máximo en el catalizador de  $8.3022e-5$  en el que es un valor super bajo el cual no presenta índices de fisuras, solo en este caso es un movimiento leve que no llega a la afectación al sistema modificado como se muestra en la ilustración 4-22.



**Ilustración 4-22:** Deformación total

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

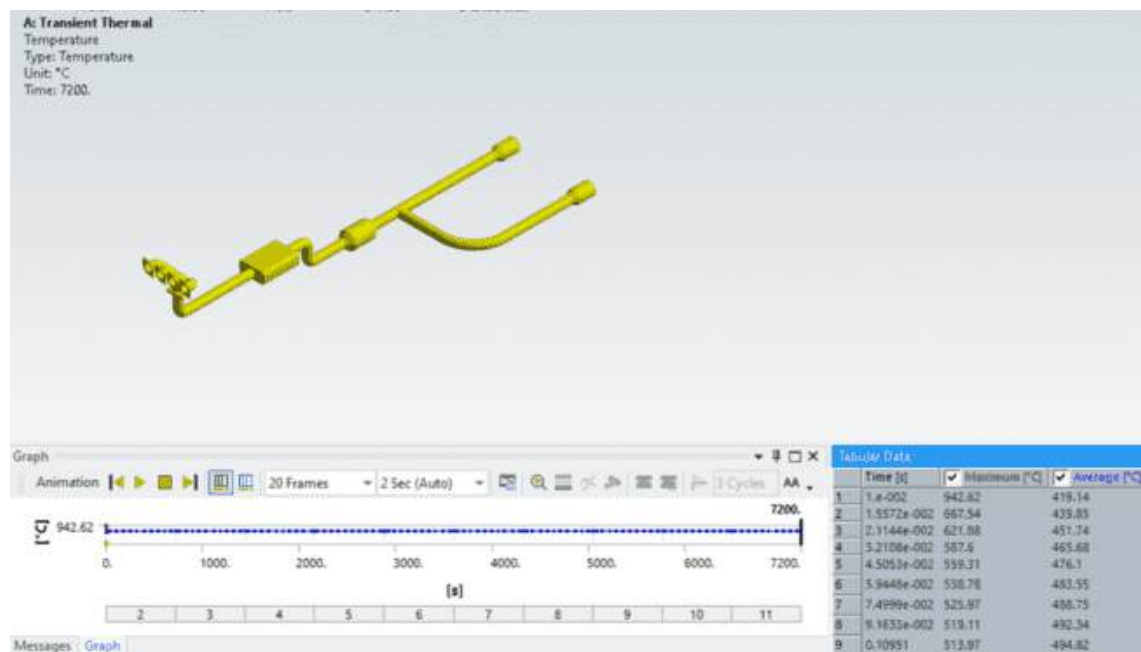
### 4.1.3. Resultados Vibraciones diseño 3

En esta modificación del diseño principal podemos identificar que el modelo tiene algunas modificaciones en su modelo y su material, vamos a demostrar los diferentes resultados encontrados mediante la simulación CAE aplicando la metodología NVH.

#### 4.1.3.1. Transient Thermal

Con esta herramienta podemos analizar los resultados que se muestran en la Ilustración 4-23, en el diseño modificado podemos observar que la simulación inicia con un flujo a 200°C de temperatura y se mantiene durante dos horas hasta alcanzar una temperatura máxima de 500°C, correspondiente a los gases de escape. El objetivo es determinar si hubo cambios o efectos en el diseño cambiado.

Según la simulación realizada, se registró un valor máximo de 942,62°C durante el tiempo necesario para alcanzar dicha temperatura, como se muestra en la Ilustración 4-23, verificando los resultados podemos observar que en el nuevo modelo las temperaturas cambian esto se debe a que este las propiedades del material son distintas a los otros diseños.

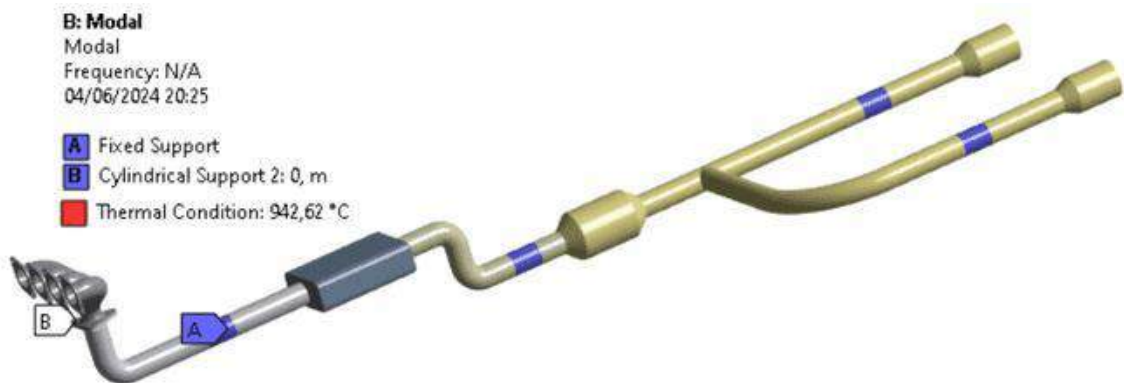


**Ilustración 4-23:** Alcance de temperatura en el diseño modificado con distinto material.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.3.2. Análisis de vibración modal

Con la aplicación de esta herramienta, implementamos simulación CAE, donde identificamos los distintos modos de vibración y deformación que experimenta el modelo modificando aplicando una temperatura de 942,62 °C, que es la temperatura máxima calculada mediante simulación Transient Thermal, con los anclajes definidos adecuadamente como nos muestra la Ilustración 4-24 iniciamos la simulación que nos mostrara los niveles de frecuencia y vibración que experimenta el modelo.



**Ilustración 4-24:** Condiciones para la simulación en el diseño 3 con distinto material.

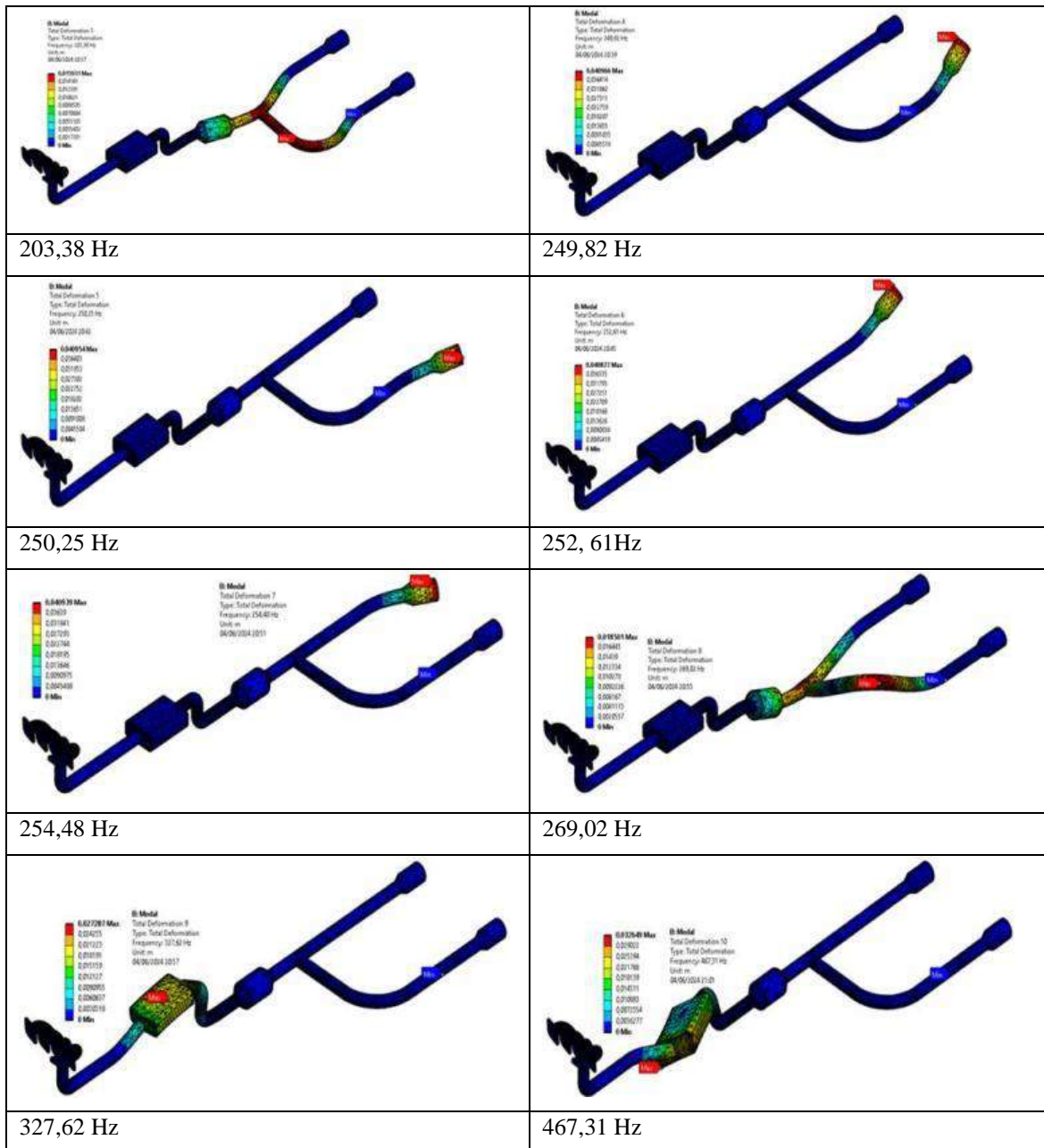
Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

#### Deformaciones con respecto a la vibración del sistema

En la tabla 4-3 podemos observar los distintos modos de vibración y deformación del modelo del sistema de gases de escape modificado, con distinto materia a los anteriores, los niveles de frecuencia calculado aumentan, lo que podemos observar en la tabla 4-3.

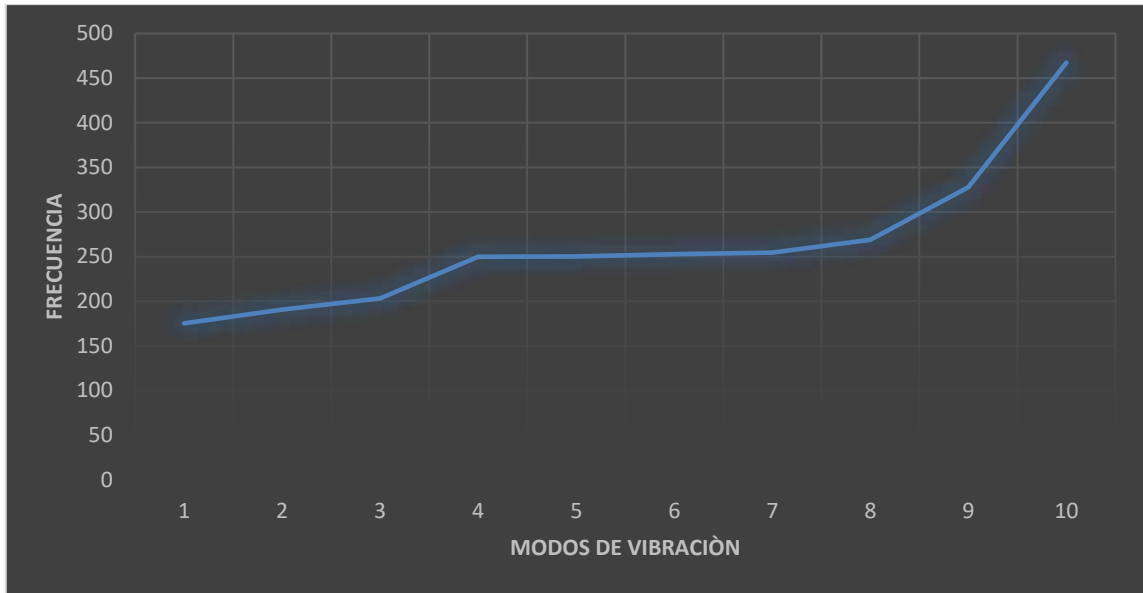
**Tabla 4-3:** Modos de deformación por frecuencia.

175,29 Hz	190,62 Hz



Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

Con los resultados de la simulación CAE finalizada, podemos observar la deformación del modelo en cada interacción de vibración, a medida que aumenta la deformación es distinta en diferentes puntos de interés del modelo, lo que podemos observar en la Ilustración 4-25 el aumento de frecuencia.

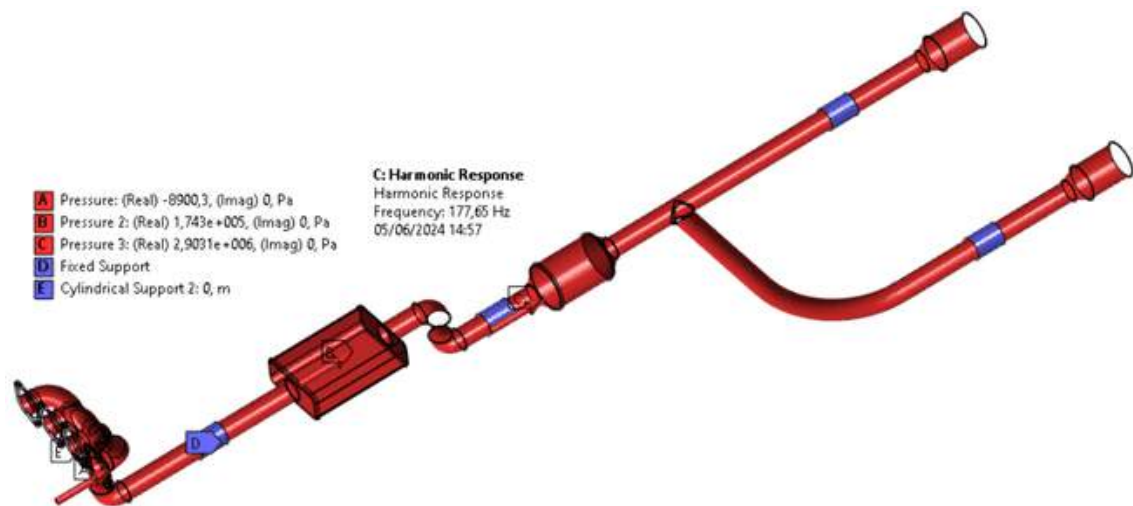


**Ilustración 4-25:** Modos de deformación a medida de aumento de frecuencia en el nuevo diseño.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.3.3. Análisis Harmonic Response

Con esta herramienta de simulación CAE, implementamos un cambio de propiedades en los materiales teniendo en cuenta que los anclajes, las presiones en los puntos de interés son las mismas de los modelos anteriores para verificar cuál es su comportamiento con las mismas condiciones de simulación la cual podemos ver en la Ilustración 4-26.

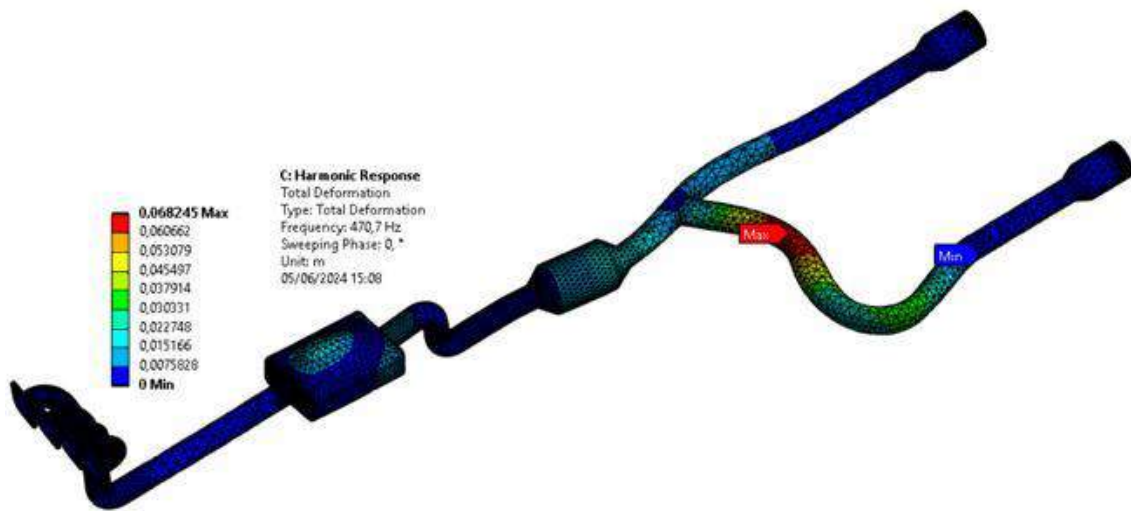


**Ilustración 4-26:** Ubicación de presión de gases y frecuencia en el sistema modificado.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

## Deformación total

Finalizado la simulación observamos los resultados en la Ilustración 4-27 que los nivel máximo y mínimo de frecuencia, son distintas al modelo principal sin modificaciones al observar la simulación finalizada podemos observar que la deformación máxima se encuentra en la tubería cerca de la salida del sistema de escape de gases obteniendo una deformación máxima de 68,25 mm con una frecuencia de 470,7 Hz la deformación es evidente en la simulación como podemos observar en la Ilustración 4-27.



**Ilustración 4-27:** Deformación total del sistema por presión de gases y frecuencia.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024.

### 4.1.3.4. Análisis Random Vibration

Con los datos encontrados mediante simulación modal de frecuencia tabularemos los mismo tomando en cuenta los datos de aceleración como se muestra en la Ilustración 4-28.

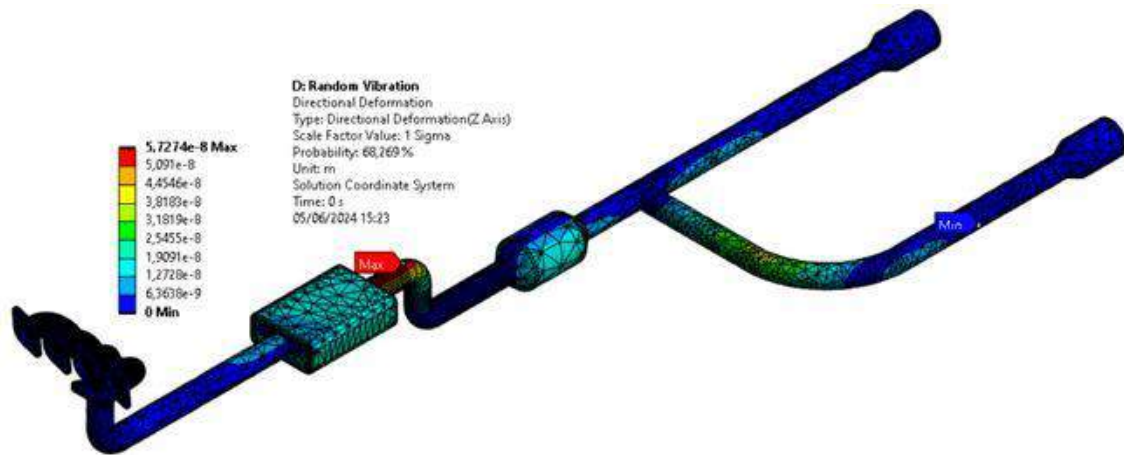


**Ilustración 4-28:** Datos de frecuencia y aceleración ingresados en ANSYS para la simulación.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

Analizando la gráfica Frecuencia vs Aceleración y simulado los datos podemos observar que en el diseño 3 no tiene deformaciones visibles en su estructura lo que podemos observar en la Ilustración 4-29, el valor máximo de vibración tiene muy poca probabilidad del 62,26% de ocasionar una deformación en toda la estructura del diseño.



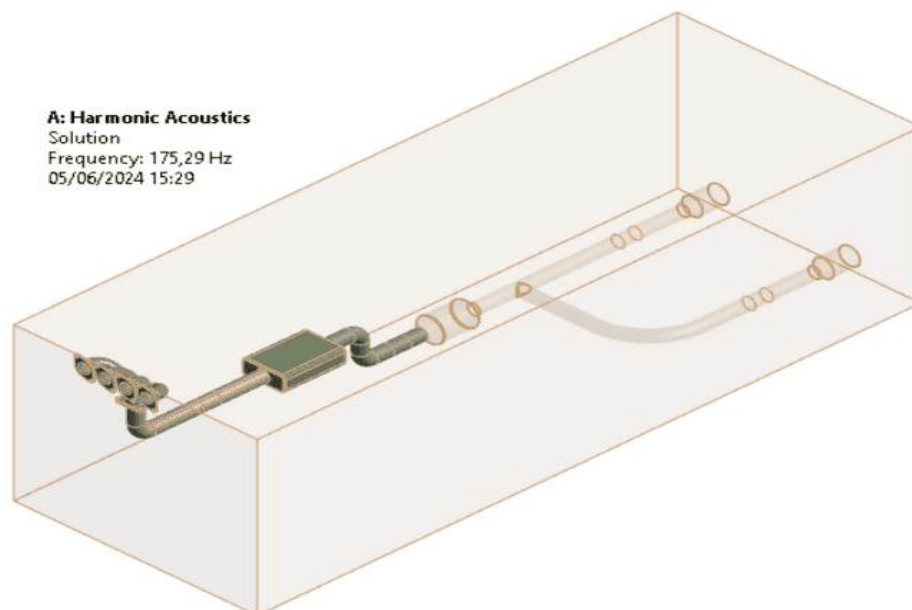


**Ilustración 4-29:** Deformación direccional en base a las variables de frecuencia y aceleración.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.3.5. Análisis Harmonic Acoustics

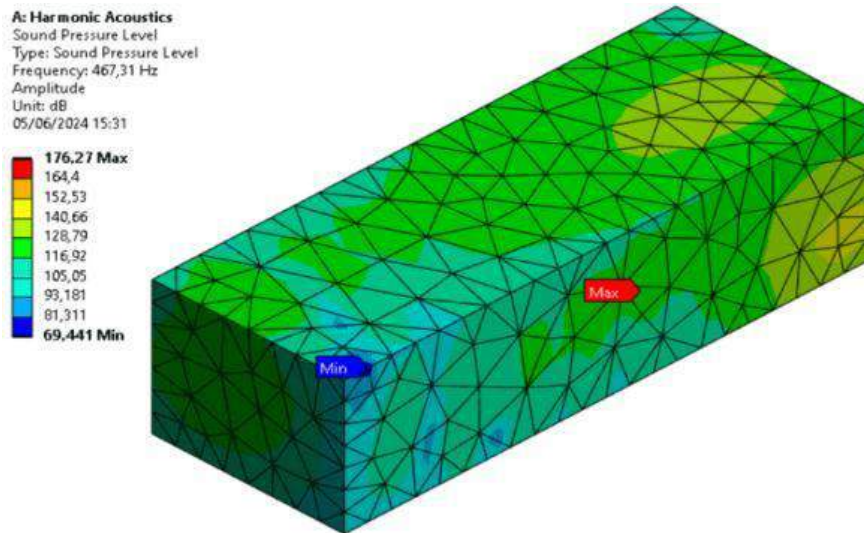
En esta simulación examinamos otro método alternativo con resultados de simulaciones anteriores como valores de frecuencias y evaluar el comportamiento acústico del diseño 3, para lo que los valores máximos y mínimos son necesarios para el análisis. A partir de estos datos, se seleccionaron las regiones específicas donde se realizaría el análisis acústico. Este proceso se representó mediante una caja que abarca todo el sistema de gases de escape, tal como se muestra en la Ilustración 4-30.



**Ilustración 4-30:** Encajonamiento del diseño 3 para el análisis acústico.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

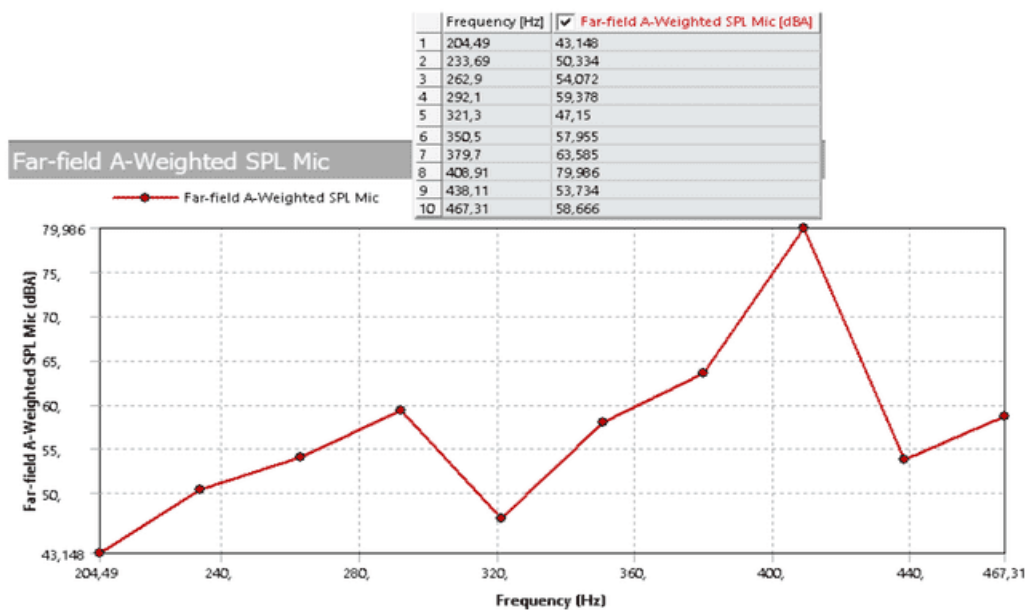
Con los resultados de la simulación finalizada y considerando que las condiciones son las correctas podemos observar la presión de sonido que soporta la estructura con un valor máximo de 176,27 dB, con un mínimo de 69,44 dB con una frecuencia máxima de 467,31 Hz, como podemos observar en la Ilustración 4-31.



**Ilustración 4-31:** Análisis de nivel de sonido.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024

En la Ilustración 4-32, analizamos los niveles de sonido mediante “Far-Field A-Weighted SPL Mic” los niveles de sonido cambian a medida que la frecuencia cambia los niveles de sonido se encuentran en un rango aceptable para el oído humano ya que su nivel máximo es de 79,98 dB como se grafica en la imagen.

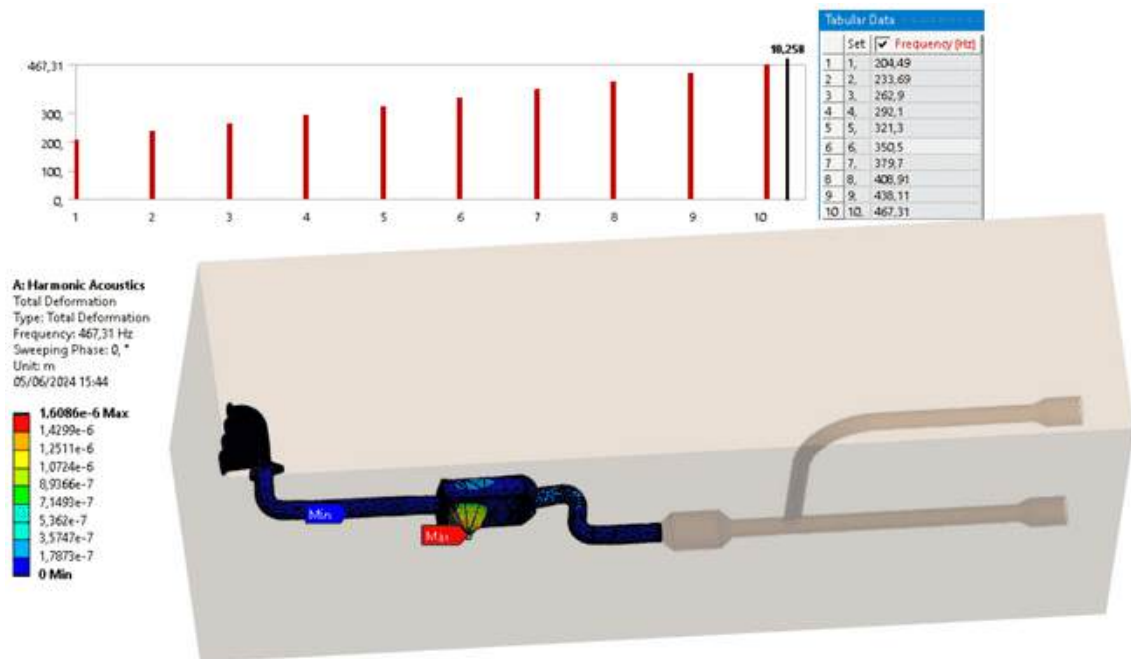


**Ilustración 4-32:** Niveles de ruido a medida que su frecuencia cambia.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024



En este análisis podemos observar la deformación que sufre el catalizador ya que este está expuesto a el sonido y a las vibraciones mediante la simulación se puede observar que la deformación tienes un valor máximo de  $1,6086e-6$  m este valor es muy pequeño por lo cual no se considera una deformación considerable en la estructura del silenciador por lo que es admisible ya que no compromete la estructura del mismo y su funcionamiento puede seguir siendo el óptimo como se muestra en la Ilustración 4-33.



**Ilustración 4-33:** Análisis de deformación total expuesto a la frecuencia máxima.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.4. Resultados Ruido

Dentro del entorno del Ruido se realizó la recolección de datos tomados en la vida real, mediante el sonómetro de marca 1100/2100 SLM (Sound Level Meter Models)

##### 4.1.4.1. Toma de datos parte externa

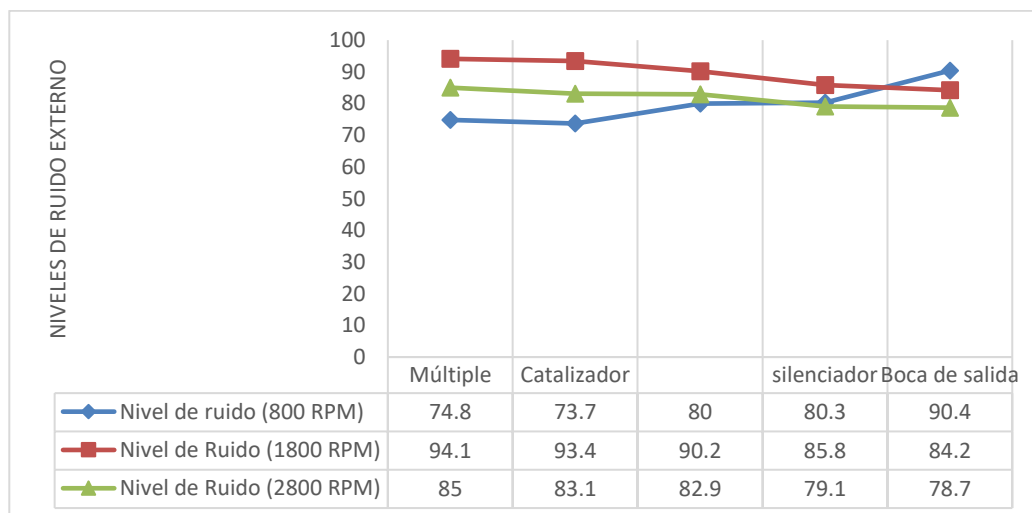
Dentro de la recolección de los datos se verifica si se encuentra dentro de los parámetros indicados en la normativa, esto con lleva a verificar el estado del ruido del vehículo en la parte externa, como se muestra en la tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Recolección de datos de ruido parte externa

Información del Vehículo Externo					
Fecha de emisión:	19/02/2024				
Tipo de vehículo:	SUV				
Marca:	Chevrolet				
Modelo:	Gran Vitara SZ				
Mediciones 1			Mediciones 2		
Elemento	Revoluciones	Nivel de ruido (db)	Elemento	Revoluciones	Nivel de ruido (db)
Múltiple de escape	800	74.8 (db)	Múltiple	2800	85 (db)
Catalizador	800	73.7 (db)	Catalizador	2800	83.1 (db)
sección media del escape	800	80 (db)	sección media del escape	2800	82.9 (db)
silenciador	800	80.3 (db)	silenciador	2800	79.1 (db)
Boca de salida	800	90.4 (db)	Boca de salida	2800	78.7 (db)
Múltiple	1800	94.1 (db)			
Catalizador	1800	93.4 (db)			
	1800	90.2 (db)			
silenciador	1800	85.8 (db)			
Boca de salida	1800	84.2 (db)			
Observaciones	No existe novedades				

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024

Los datos recolectados en el automóvil a diferentes niveles de revoluciones, podemos identificar que en los tres niveles recolectados se observa una tendencia que a medida que las revoluciones aumenta los niveles de sonido en los puntos de interés aumentan o disminuyen, a 800 RPM constante podemos observamos en la Ilustración 4-34 una tendencia que aumenta con respecto a los datos recolectados del múltiple con la boca de salida del escape, en 1800 RPM constante observamos que los niveles de ruido disminuyen a medida que las RPM aumentan y se alejan del múltiple hacia la boca de salida del escape esto puede ser a causa que disminuye las vibraciones, en 2800 RPM constante el nivel de salida es media a medias que se aleja los datos disminuyen con respecto a la salida del escape.



**Ilustración 4-34:** Niveles de ruido vs las RPM del motor en diferentes puntos del sistema de escape.

**Realizado por:** Caiza B; Salazar D.,2024

4.1.4.2. Toma de datos parte internas

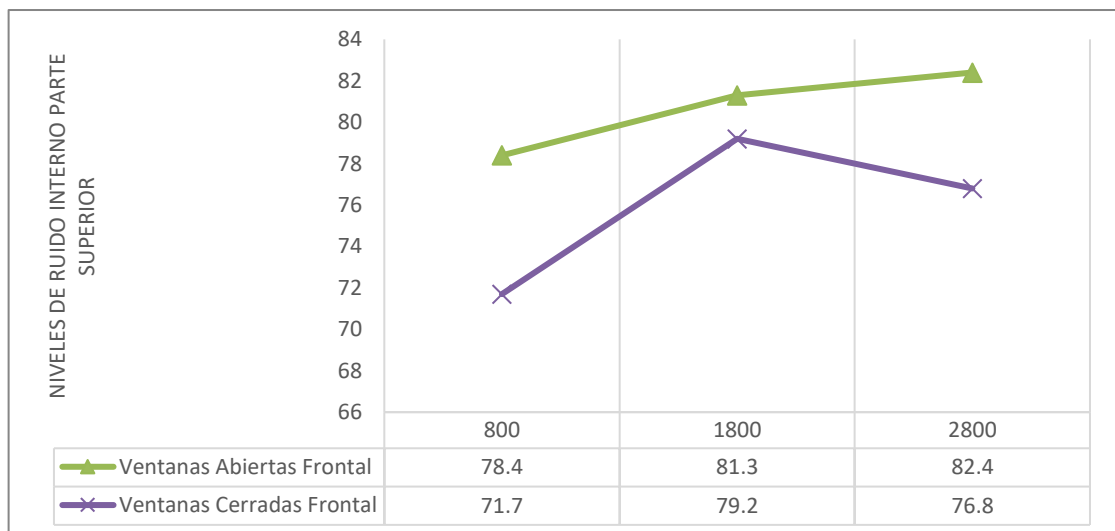
Recolectando datos en la parte interior sea estas posteriores como en la parte superiores se verifica que se encuentren en los rangos indicados, como se muestra en la tabla 4-5

**Tabla 4-5:** Recolección de datos de ruido parte externa.

Información del Vehículo Interno					
Fecha de emisión:	19/02/2024				
Tipo de vehículo:	SUV				
Marca:	Chevrolet				
Modelo:	Gran Vitara SZ				
Mediciones Ventanas abiertas 1			Mediciones 2 Ventanas Cerradas		
Elemento	Revoluciones	Nivel de ruido (db)	Elemento	Revoluciones	Nivel de ruido (db)
Ventanas Abiertas Posterior	800	78.4 (db)	Ventanas Cerradas Frontal	800	71.7 (db)
	1800	81.3 (db)		1800	79.2 (db)
	2800	82.4 (db)		2800	76.8 (db)
Mediciones ventanas abiertas 1			Mediciones 2 Ventanas Cerradas		
Elemento	Revoluciones	Nivel de ruido (db)	Elemento	Revoluciones	Nivel de ruido (db)
Ventanas Abiertas Superior	800	76 (db)	Ventanas Cerradas Pasajeros	800	72.5 (db)
	1800	77.6 (db)		1800	71.9 (db)
	2800	78.7 (db)		2800	81.1 (db)
Observaciones	No existe novedades				

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

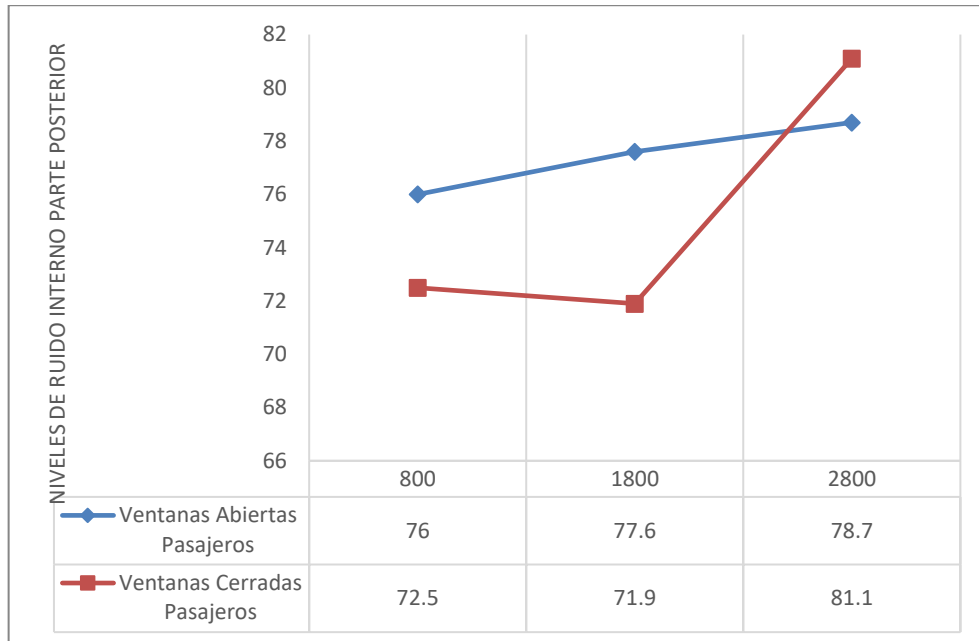
Según la tabla 4-4, los datos recolectados con diferentes condiciones de funcionamiento e intervención podemos observar en la Ilustración 4-35, con las ventanas abiertas de la parte frontal los niveles percibidos en la cabina son mayores a los permitidos por el oído humano, de 70 dB considerando el ruido ambiente percibido por la herramienta, con las ventanas cerradas en la parte frontal los niveles de ruido percibido según aumentan las RPM, porque los niveles de vibración aumentan.



**Ilustración 4-35:** Niveles de ruido percibido en la cabina con las ventanas frontales abiertas y cerradas.

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

En la ilustración 4-36 podemos observar los niveles de ruido percibidos con las ventanas posteriores cerradas a mediad que las RPM aumentan con la influencia del sonido ambiente. Puede observar un ligero desbalance que puede ser también un aspecto considerado para mitigar el ruido percibido.



**Ilustración 4-36:** Niveles de ruido vs las RPM del motor interior parte posterior

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

#### 4.1.5. Resultados Asperezas

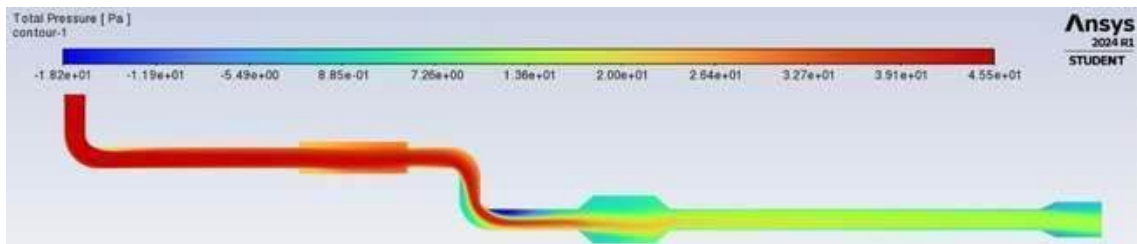
En la metodología NVH la aspereza es un punto importante para considerar en el análisis, para lo cual podemos realizarlo mediante simulación con un análisis mediante ANSYS CFD, este análisis nos permite realizar un análisis del comportamiento que tiene un fluido que atraviesa un cuerpo en 2D permitiéndonos verificar u analizar la rugosidad, velocidad y la presión a la cual está sometida el diseño.

Dentro de este análisis comprobaremos si la rugosidad o aspereza del material afecta a la velocidad que el fluido circula por el diseño si este afecta la composición del material y si produce alguna deformación o afectación en el diseño, realizaremos una comparativa de los resultados obtenidos del mismo diseño en 2D con diferentes valores de rugosidad.

## Análisis 1

### Presión

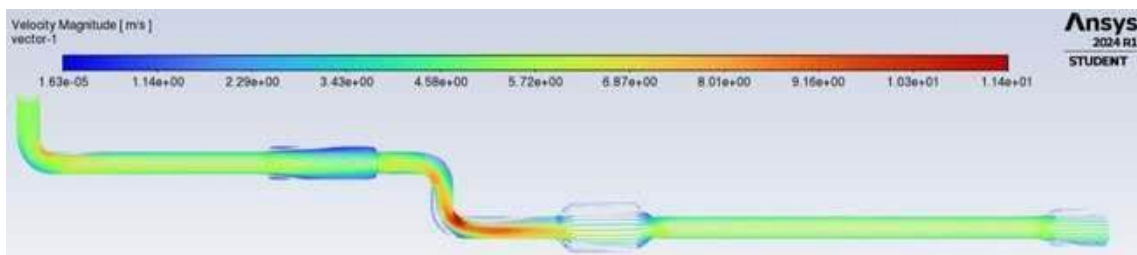
En la ilustración 4-37, podemos observar la presión que circula desde la salida del múltiple de escape con una presión de  $4.55e+01$  (Pa) hacia la salida del diseño con una presión de  $-1.82e+01$  (Pa) lo que se puede observar en la imagen que a medida que la presión circula por el sistema este reducirá significativamente la presión de los gases de escape hacia el medio ambiente.



**Ilustración 4-37:** Nivel de presión a la que está sometido el sistema de escape en 2D.

### Velocidad

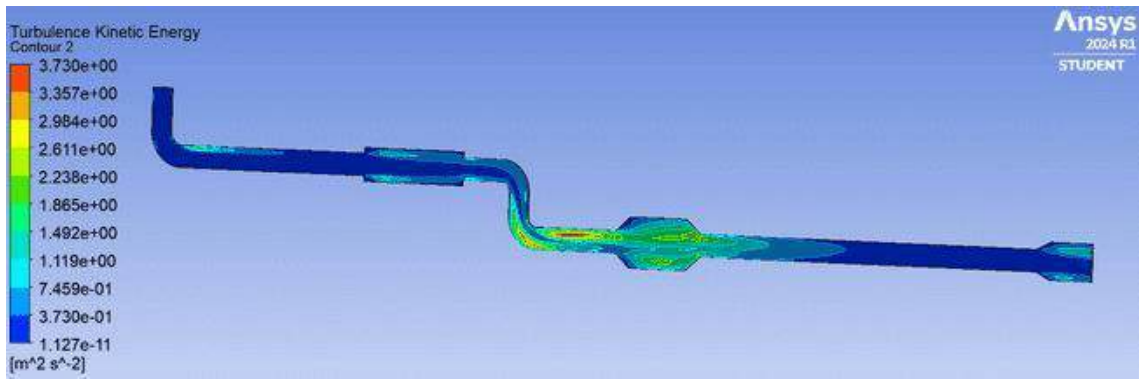
Al simular el fluido que en este caso es los gases de escape que expulsa el MCI, la rugosidad del material influye en este proceso el nivel de rugosidad para el análisis 1, es el valor por default que el software proporciona para realizar la simulación la velocidad máxima y mínima que el fluido alcanza ante el catalizador y el silenciador, el valor máximo es de  $1.14e+01$  (m/s), valor mínimo de  $1.63e-05$  (m/s) estos valores cambian a mitad que el fluido avanza en el diseño como podemos observar en la Ilustración 4-38.



**Ilustración 4-38:** Velocidad máxima a la que circula el fluido por el punto más crítico.

### Energía cinética de turbulencia

La disposición de energía cinética constituye un parámetro importante al analizar el movimiento en fluidos en la Ilustración 4-39, podemos observar su comportamiento la energía de turbulencia sea este de un valor máximo de  $3.73$  ( $m^2/s^2$ ) y un valor mínimo de  $1.127e-11$  ( $m^2/s^2$ ), la turbulencia que el diseño experimentara se encuentra en el catalizador y el silenciador como podemos observar este tramo es considerado crítico por el cual la turbulencia será el valor máximo.

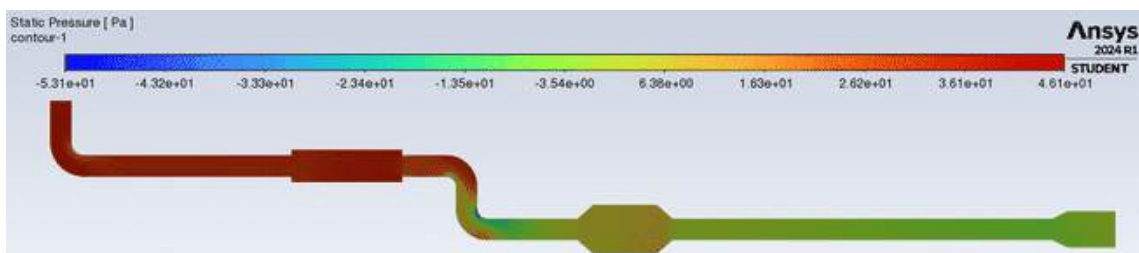


**Ilustración 4-39:** Energía cinética de turbulencia que experimenta el sistema de escape en su punto más crítico.

## Analisis 2 con condiciones de simulación

### Presión

En la ilustración 4-40, podemos observar la presión que circula desde la salida del múltiple de escape con una presión de  $4.61e+01$  (Pa) hacia la salida del diseño con una presión de  $-5.31e+01$  (Pa) lo que se puede observar en la imagen que a medida que la presión circula por el sistema este reducirá significativamente la presión de los gases de escape hacia el medio ambiente.

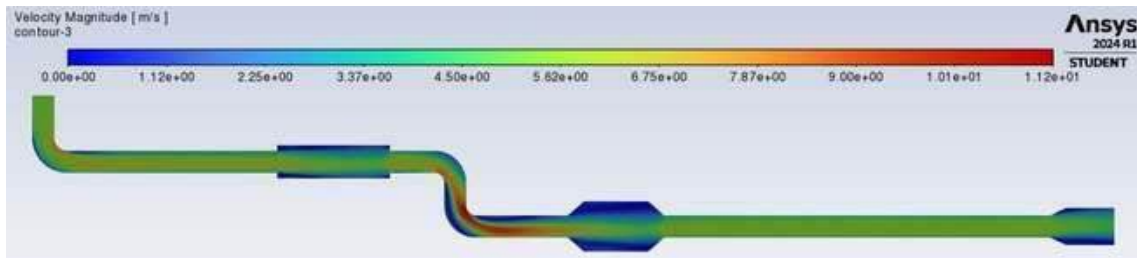


**Ilustración 4-40:** Diseño del sistema en 2D para realizar la simulación

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

### Velocidad

Al simular el fluido que en este caso es los gases de escape que expulsa el MCI, la rugosidad del material en este caso es de  $3,2 \mu\text{m}$  en análisis 2, es el valor proporcionado para realizar la simulación la velocidad máxima y mínima que el fluido alcanza ante el catalizador y el silenciador, el valor máximo es de  $1.12e+01$  (m/s), valor mínimo de 0 (m/s) estos valores cambian a medida que el fluido avanza en el diseño como podemos observar en la Ilustración 4-41.

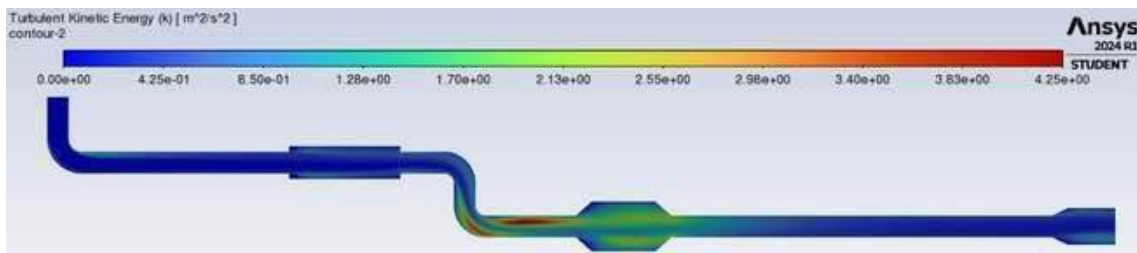


**Ilustración 4-41:** Diseño del sistema en 2D

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

### Energía cinética de turbulencia

La disposición de energía cinética constituye un parámetro importante al analizar el movimiento en fluidos en la Ilustración 4-42, podemos observar su comportamiento la energía de turbulencia sea este de un valor máximo de 4.25 ( $m^2/s^2$ ) y un valor mínimo de 0 ( $m^2/s^2$ ), la turbulencia que el diseño experimentara se encuentra en el catalizador y el silenciador como podemos observar este tramo es considerado critico por el cual la turbulencia será el valor máximo.



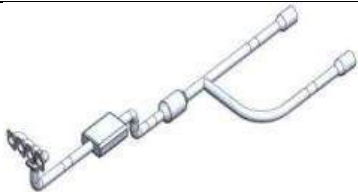


**Ilustración 4-42:** Diseño del sistema en 2D para realizar la simulación

Realizado por: Caiza B; Salazar D.,2024

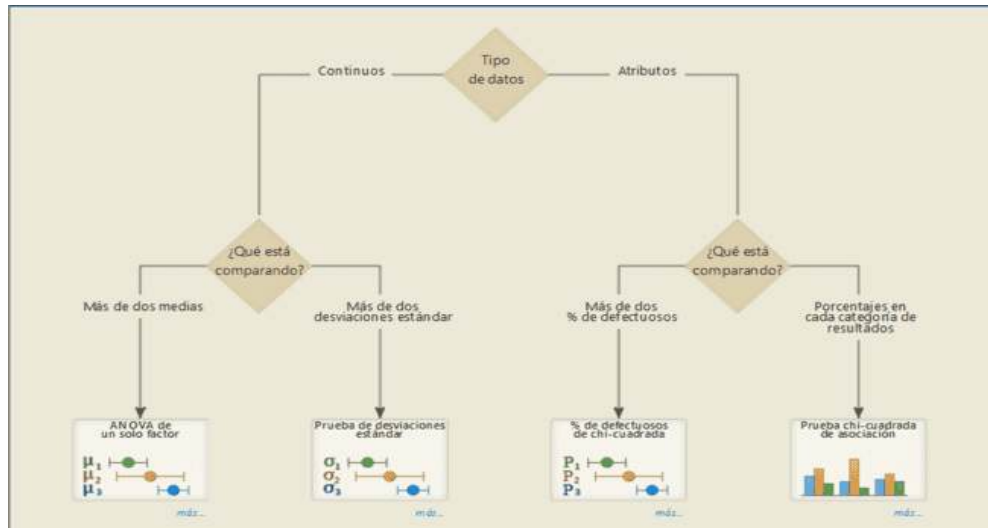
## 4.2. Validación de la hipótesis

**Tabla 4-6:** Características de los diseños

Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
		
El primer diseño es la toma de medidas de un vehículo Chevrolet, el cual este tiene como característica la una salida de tubo de escape.	En el siguiente diseño se realizó una modificación para observar el cual es la afectación que tiene al momento de agregar una salida adicional en el tubo de escape.	El último diseño se realizó un cambio de material y la implementación de un soporte más para ver los cambios que tiene con este diseño.

Realizado por: Caiza B; Salazar D., 2024.

Para poder analizar la validación de la hipótesis procedemos a realizar un análisis estadístico de varianza (ANOVA), el cual nos ayuda a comprobar si llega a cumplir si es una hipótesis nula o una hipótesis alternativa, para esto nosotros seguimos los pasos de comprobación de hipótesis en el cual seleccionamos un análisis ANOVA de un factor, como se muestra en la ilustración 4-43. Dentro de esto se puede realizar y comprobar la hipótesis ya que se tiene datos los cuales son continuos y los cuales nos permiten seguir con el camino y comprobar cuál es la varianza.



**Ilustración 4-43:** Selección de prueba de hipótesis

Fuente: Minitab

#### 4.2.1. Vibración

Con el camino que se tomó se realizó un análisis con los datos que obtuvimos de los modos de vibrar el cual nos permite comprobar dentro cuál de los 3 diseños analizados es el más óptimo a reducir las vibraciones emitidas. Para esto realizamos la prueba y podemos observar el siguiente análisis.

**Tabla 4-7:** Análisis de varianza y medias 1

#### Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	301689	150844	11.80	0.000
Error	57	728876	12787		
Total	59	1030564			

#### Medias

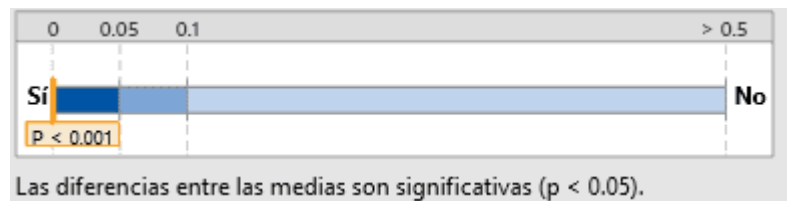
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Frecuencia	20	362.7	161.9	(312.1, 413.4)
Frecuencia_1	20	189.6	74.3	(139.0, 240.2)
Frecuencia_2	20	264.0	81.4	(213.4, 314.7)

Desv.Est. agrupada = 113.081

Fuente: Minitab



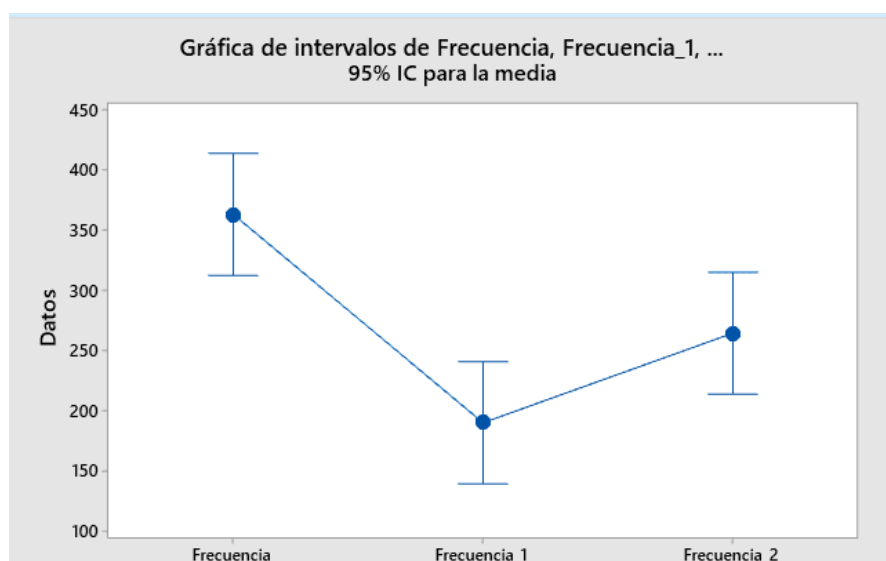
Como se puede observar en la tabla 4-7 del análisis de la varianza obtenemos un valor p el cual es de 0.001, por lo tanto, nos permite verificar que cuando el valor de p es menor al 5% nos dice que rechazamos la hipótesis nula y confirmamos la hipótesis alternativa, en este caso nosotros verificamos el valor y podemos afirmar que existe una variación de datos en lo cual se confirma la hipótesis alternativa, como en la ilustración 4-44.



**Ilustración 4-44:** Dato del valor p

Fuente: Minitab

Llegando a comprobar que realizando una media de los datos podemos observar que el diseño dos es el más viable para reducir las vibraciones ya que tiene una media más baja de los tres diseños como se puede observar en la ilustración 4-45.



**Ilustración 4-45:** Puntos medios de los datos de frecuencia

Realizado por: Minitab

#### 4.2.2. Ruido

Para la validación del ruido se realizó el mismo procedimiento con los 3 diseños y observar cual es la afectación del ruido y cuál es el más óptimo dentro de los estándares de calidad y verificar el confort del usuario. Con esto se puede observar cual es análisis estadístico y comprobar los datos como se muestra en la siguiente tabla 4-8.

**Tabla 4-8:** Análisis de varianza y medias 2

### Análisis de Varianza

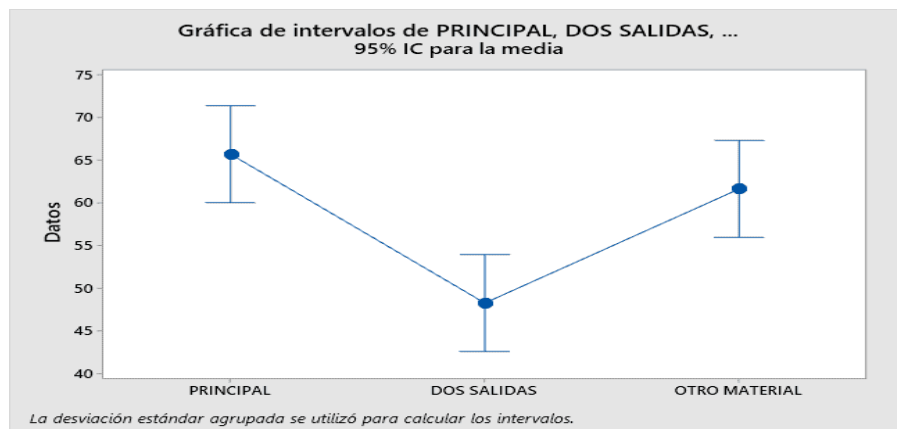
Fuente	GL	SC		Valor F	Valor p
		Ajust.	MC Ajust.		
Factor	2	2499	1249.3	10.52	0.000
Error	42	4986	118.7		
Total	44	7485			

### Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
PRINCIPAL	15	65.68	11.03	(60.00, 71.35)
DOS SALIDAS	15	48.23	10.76	(42.55, 53.91)
OTRO MATERIAL	15	61.60	10.89	(55.92, 67.27)

Fuente: Minitab

Con los datos obtenidos en la tabla 4-8 podemos observar que al momento de realizar un análisis de varianza se puede obtener un valor de p de 0,001 el cual es un valor menor al 5%, por lo tanto, se puede demostrar que rechazamos la hipótesis nula y llegamos a afirmar la hipótesis alternativa, llegando a decir que por el valor de p que obtuvimos demuestra la variación de datos entre los 3 diseños. Llegando a comprobar que realizando una media de los datos podemos observar que el diseño dos es el más factible para mejorar el confort del usuario ya que tiene una media más baja de los tres diseños como se puede observar en la ilustración 4-46.



**Ilustración 4-46:** Puntos medios de los datos de ruido

Fuente: Minitab

### 4.2.3. Aspereza

Según el análisis de resultados la rugosidad no llega a hacer una afectación significativa dentro de la velocidad, presión y el comportamiento que tiene el sistema de gases de escape, esto no llega a tener efecto en la deformación de este sistema y demostrando que la rugosidad llega a ser la misma en todos los diseños, con esto el análisis llega a ser subjetiva ya que no se puede contar con un análisis a profundidad para que se analice este.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Al revisar la literatura existente podemos resaltar el trabajo de Hardik Shah (2023), él nos ha proporcionado un concepto claro para comprender los principios y técnicas esenciales para comprender el NVH, su investigación nos proporciona métodos para aplicar mejoras para disminuir el impacto NVH

En conclusión, las herramientas de modelación CAD/CAE utilizados en los diseños del sistema de escape nos permiten analizarlos de una forma muy precisa dentro de la simulación puesto que los resultados de sonido los nivel máximos de los diseños son en el diseño 1 de 195 dB, en el diseño 2 de 166,7 dB y es de diseño 3 de 176, 27 dB, tomando en cuenta que la simulación en los tres diseño esta tomado antes del silenciador ya que el silenciador puede disminuir el valor total de sonido producido en un 40 a 50% por lo que llegamos a concluir que en el análisis de sonido el diseño 2 tiene el nivel más bajo por lo cual es el más óptimo a considerar pues este no supera el lumbral máximo que soporta el oído humano al estar expuesto a un ruido constante durante un determinado tiempo evitando problemas de salud parcial o total al estar expuesto a niveles grandes de ruido.

A través de un análisis de vibraciones simulado, los resultados encontrados para analizar son de frecuencia puesto que los niveles máximos de frecuencia en el diseño 1 es de 189,58 Hz, diseño 2 de 62,072 Hz, diseño 3 de 175,29 Hz. Podemos resumir que dentro de la escala de tolerancias de exposición de vibración para el confort en el trabajo diario el diseño 2 está dentro de la escala admisible de exposición del cuerpo humano evitando posibles efectos de salud ocasionando dolor, fatiga muscular, lesiones en articulaciones y huesos por lo que es esencial cumplir con estos límites y aplicar medidas preventivas para proteger la salud y el bienestar de las personas mejorando el confort percibido.

Concluimos que, una vez realizado todas las simulaciones en los diseños los resultados analizados y expuestos a una comparativa, los diseño 1, 2 y 3 utilizados en esta investigación bajo ciertos criterios realizado un análisis de varianza (ANOVA), el diseño 2 es el óptimo para la disminución de ruido y vibraciones percibidas en el sistema de escape de gases además los modelos pueden soportar altas temperaturas de los gases y sin comprometer su estructura y funcionalidad.

## **5.2. Recomendaciones**

Los avances tecnológicos en esta área no solo mejoran la experiencia del usuario, sino que también promueven la innovación y la competitividad en la industria automotriz. Por lo tanto, es esencial seguir investigando y aplicando las mejores prácticas de NVH para asegurar vehículos más silenciosos, cómodos y duraderos.

Realizar modelos CAD de otros sistemas automotrices, con el fin de obtener un conocimiento más extenso de su comportamiento estructural realizar fases previas de preprocesamiento y el post-procesamiento del sistema a simular. Observar cuál es su comportamiento NVH en otros componentes del automóvil mediante la simulación CAD/CAE validar si es viable la aplicación de esta metodología.

Al momento de realizar diseños de modelación CAD y simulaciones CAE se realice con licencias profesionales de los softwares que se van a utilizar para evitar limitaciones de una licencia estudiantil y así no estar en conflicto con el gasto computacional.

Realizar estudios de otros sistemas automotrices mediante las tomas de datos con instrumentos especializados en las mediciones de ruido para analizar su comportamiento mediante simulación CAD/CAE para validar la viabilidad de la metodología ya que es un aspecto importante a considerar.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ABDELKAREEM, MAILER; et al.** *Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review*. 1 noviembre 2018. S.l.: Elsevier Ltd. 2018.
2. **ARMENTANI, Enrique; et al.** Design for NVH: Topology optimization of an engine bracket support. *Procedia Structural Integrity*. S.l.: Elsevier B.V., pp. 211-218. vol. 26. DOI 10.1016/j.prostr.2020.06.024.
3. **ATINDANA, Veronica; et al.** *The Evolution of Vehicle Pneumatic Vibration Isolation: A Systematic Review*. S.l.: Hindawi Limited. 2023.
4. **AWANG, Karla; et al.** Lower back pain and its association with whole-body vibration and manual materials handling among commercial drivers in Sabah. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 25, no. 1, ISSN 10803548. DOI 10.1080/10803548.2017.1388571. 2019
5. **BEWILOGUA, Karen; et al.** Surface technology for automotive engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 58, no. 2, 2019. ISSN 00078506. DOI 10.1016/j.cirp.2009.09.001.
6. **BISCHOF, Wilfrido.** *Noise Optimized Control of an Electrical Drive with Induction Machine Harmonics Modeling and Control Strategies*. 2023. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://cuvillier.de/de/shop/publications/8087>.
7. **BIZKAIA, TECNALIA & EKOIURE.** Informe sobre Ruido Ambiental y Salud. . S.l.:
  8. **CENGEL, Yengil.** *Termodinámica*. Termodinámica. Mcgraw-Hil. S.l. 2015.
9. **CHEN, Ying; et al.** Study on vibration and noise influence for optimization of garden mower. *Nonlinear Engineering*, vol. 10, 2021. no. 1, ISSN 21928029. DOI 10.1515/nleng-2021-0034.
10. **DRÉGELYI, Ángel & CZIFRA, Ángela.** Measurement uncertainty and gauge capability of surface roughness measurements in the automotive industry: A case study. *Surface Topography: Metrology and Properties*, vol. 2, no. 3, 2014. ISSN 2051672X. DOI 10.1088/2051-672X/2/3/034001.
11. **FERDOUSEE, Ambar.** Impact of Electric Vehicle Adoption on Electricity Consumption and Generation: Evidence from California. *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 12, no. 5, 2022. ISSN 21464553. DOI 10.32479/ijee.13271.
12. **FRANK, Merci.** *Fluid mechanics (seventh ed.)*. McGraw-Hil. S.l. 2008. ISBN 0070622329.
13. **GRAND VIEW RESEARCH.** *Automotive NVH Materials Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product*. 2023. [en línea]. Disponible en: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/automotive-nvh-materials-market#>.
14. **HAN, Went; et al.** *Research status and prospect of wind-vehicle-bridge coupling vibration system*. 1 junio 2022. S.l. Chang'an University.

15. **HARDIK SHAH.** *¿Qué es el ruido, la vibración y la dureza del automóvil (NVH?).* 2023 [en línea]. [consulta: 10 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.ansys.com/blog/what-is-automotive-nvh>.
16. **HARRIS, Osmanet; et al.** Electric Vehicle Whine Noise-Gear Blank Tuning as an Optimization Option. *Gearte Technology* [en línea], Disponible en: [www.geartechnology.com](http://www.geartechnology.com)].
17. **HOLEHOUSE, Ramiro. et al.** Integrated approach to NVH analysis in electric vehicle drivetrains. *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 17, ISSN 2051-3305. DOI 10.1049/joe.2018.8247.
18. **HUA, Thomas; et. al.** *Recent progress in battery electric vehicle noise, vibration, and harshness.* S.l.: SAGE Publications Ltd. 2021.
19. **INDIKA, Fel; et al.** *Measurement and evaluation of the effect of vibration on fruits in transit—Review.* 1 noviembre 2018. S.l.: John Wiley and Sons Ltd.
20. **KAPOOR, Roy; et al.** *Sound propagation modelling for manned and unmanned aircraft noise assessment and mitigation: A review.* 1 noviembre 2021. S.l.: MDPI.
21. **KARLSSON, Joy.** *Investigation of Dynamic Friction Properties of a Dual Mass Flywheel for Commercial Vehicles.* Göteborg, Sweden: Chalmers University Of Technology.
22. **LI, Delain & HUANG, Ying.** The discomfort model of the micro commercial vehicles interior noise based on the sound quality analyses. *Applied Acoustics*, vol. 132, ISSN 1872910X. DOI 10.1016/j.apacoust.2017.11.022.
23. **MASA'ID, Ander; et al.** *A Review on Vibration Control Strategies Using Magnetorheological Materials Actuators: Application Perspective.* 1 marzo 2023. S.l.: MDPI.
24. **MENDES, Geovany; et al.** The consequences of mechanical vibration exposure on the lower back of bus drivers: A systematic review. *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 21, 2022. ISSN 20763417. DOI 10.3390/app11219986.
25. **MOULIN, Daniel; et al.** CVD Diamond Coatings for Machining. *Materials Science Forum*, vol. 526, DOI 10.4028/www.scientific.net/msf.526.55.
26. **NISHINAKA, Hieger & MATSUOKA, Nejer.** Noise, Vibration, and Harshness Analysis Technique Using a Full Vehicle Model FEATURED TOPIC. *SEI TECHNICAL REVIEW*, no. 88, 2019.
27. **PALACIOS, Jenny.** Influencia de la disposición del conducto de escape en el índice de contaminación de los buses de transporte masivo de pasajeros de la ciudad de Cuenca. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca- Ecuador. 2010
28. **PALANIVENDHAN, Maibu; et al.** Reduction in aerodynamic drag acting on a commercial vehicle by using a dimpled surface. *Materials Today: Proceedings.* S.l.: Elsevier Ltd, pp. 7072-7078. vol. 45. 2021. DOI 10.1016/j.matpr.2021.01.884.

29. **PENG, Jaire; et al.** Influence of translational vehicle dynamics on heavy vehicle noise emission. *Science of the Total Environment*, vol. 689, 2019. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.06.426.
30. **QIN, Ying; et al.** *Noise and vibration suppression in hybrid electric vehicles: State of the art and challenges*. 1 mayo 2020. S.l.: Elsevier Ltd.
31. **SAHU, Arin; et al.** *Noise and Vibration in Switched Reluctance Motors: A Review on Structural Materials, Vibration Dampers, Acoustic Impedance, and Noise Masking Methods*. 2023. S.l.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
32. **SONNAD, Peter.** *Experimental Evaluation of an Electric Powertrain for NVH* [en línea]. Gothenburg, Sweden: CHALMERS University Of Technology. Disponible en: [www.chalmers.se](http://www.chalmers.se).
33. **SOURI, Verci.** NVH And Structural Adaptations in Automobiles: A Perspective. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2021. [en línea], Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/348778047>.
34. **SVAHN, Ferley.** The influence of surface roughness on friction and wear of machine element coatings. *Wear*, vol. 254, no. 11, 2023. ISSN 00431648. DOI 10.1016/S0043-1648(03)00341-7.
35. **UHLAR, Susi; et al.** *Assessment of two physical tyre models in relation to their NVH performance up to 300 Hz*. 2021. S.l.: Taylor and Francis Ltd.
36. **VENCZEL, M., VERESS, Á. & PEREDY, Z.** *Past and Future Practical Solutions for Torsional Vibration Damping in Vehicle Industry*. 2022. S.l.: Budapest University of Technology and Economics.
37. **WANG, Ying; et al.** NVH Optimization Analysis of Permanent Magnet Synchronous Motor by Rotor Slotting. *Vehicles*, vol. 2, no. 2, 2020. ISSN 26248921. DOI 10.3390/vehicles2020016.
38. **WIWOHO, Mudjanarko.** *Noise of Motor Vehicles at from of Baiturrahman Great Mosque Semarang City*. 2019. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.google.com/search?safe=strict&client=firefox->.
39. **XUE, Hing & MASTINU, Geing.** Research and Development on Noise, Vibration, and Harshness of Road Vehicles Using Driving Simulators—A Review. *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH*, vol. 7, no. 4, ISSN 2380-2162. DOI 10.4271/10-07-04-0035.
40. **XUE, Hing & MASTINU.** Research and Development on Noise, Vibration, and Harshness of Road Vehicles Using Driving Simulators—A Review. *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH*, vol. 7, no. 4, ISSN 2380-2162. DOI 10.4271/10-07-04-0035.
41. **ZHANG, Weng & XU, Joyun.** *Advanced lightweight materials for Automobiles: A review*. 1 septiembre 2022. S.l.: Elsevier Ltd.

**42. ZHENG, Xang; et al.** Modeling and NVH analysis of a full engine dynamic model with valve train system. *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 15, 2020. ISSN 20763417. DOI 10.3390/app10155145.

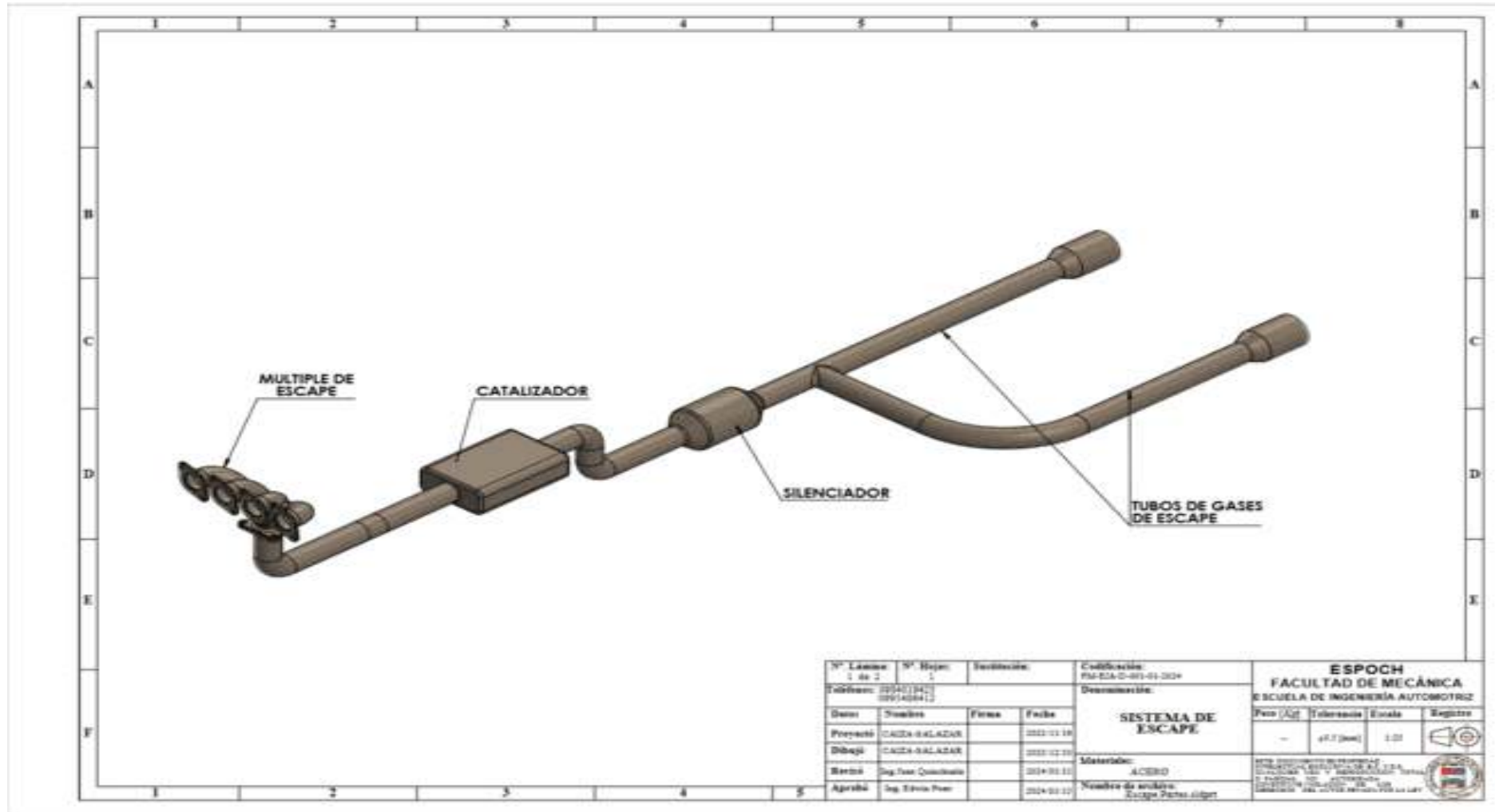


**Total 42 referencias bibliográficas**



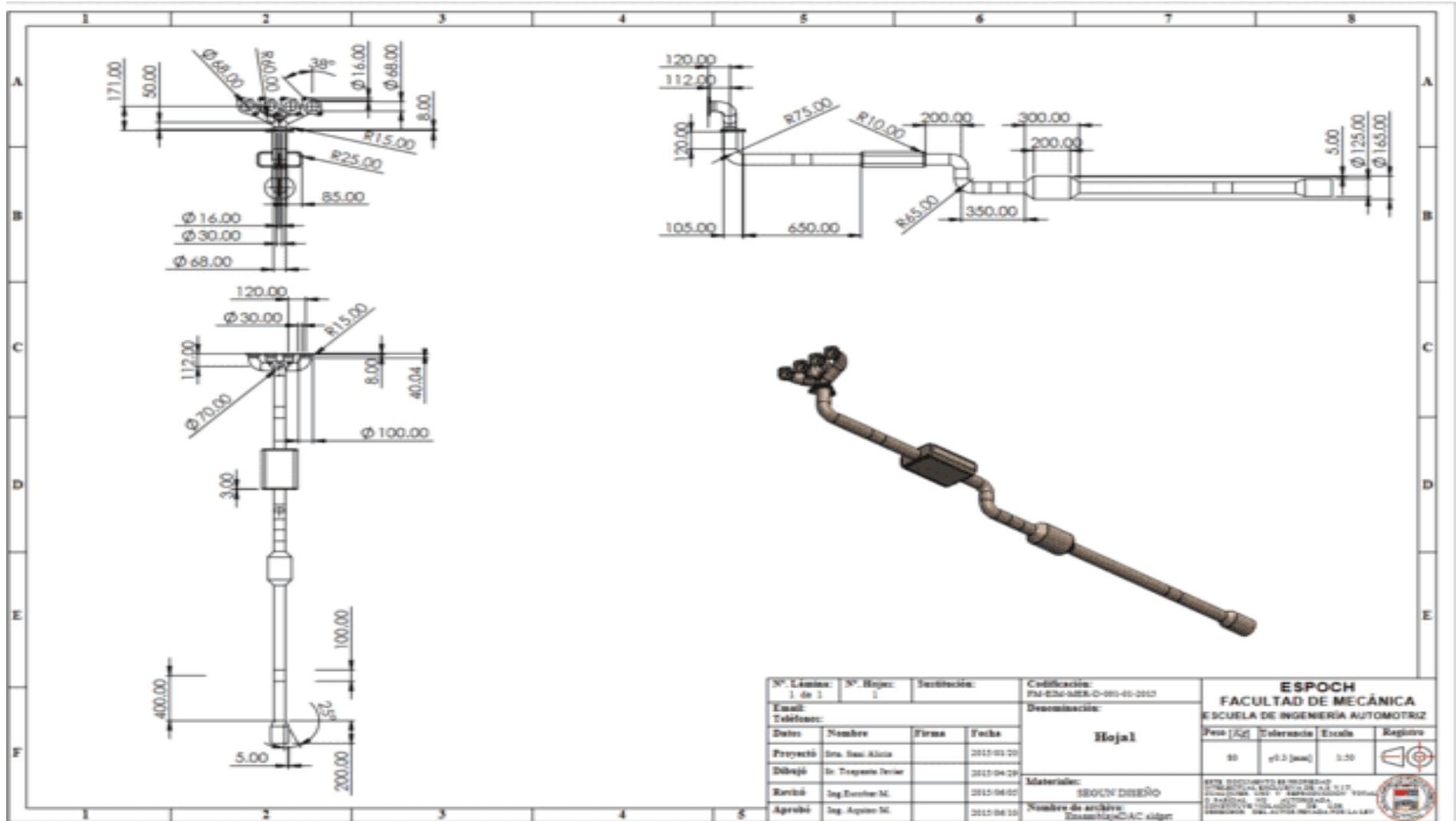
# ANEXOS

## ANEXO A: MÚLTIPLE DE ESCAPE



N° Lámina: 1 de 2	N° Hoja: 1	Sección:	Calificación: FM-DA-D-001-01-2024	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ</b>			
Títulos: 2014(184) 2014(284)			Descripción:  <b>SISTEMA DE ESCAPE</b>				
Diseno	Disables	Firma	Fecha	-	±0,2 (mm)	1:01	
Proyecto	CACDA-SALAZAR		2023-11-18	Material: ACERO Nombre de archivo: Escape-Pierres.dwg			
Diseño	CACDA-SALAZAR		2023-12-20				
Revisó	Ing. Juan Quintero		2024-01-11				
Aprobó	Ing. Edwin Pizar		2024-01-11				

ANEXO B: MÚLTIPLE DE ESCAPE CON SALIDA 1



N° Lámina: 1 de 1	N° Hojas: 1	Institución:	Codificación: PMA-EDM-2018-C-001-40-2017
Email:		Denominación:	
Teléfono:		<b>Hojal</b>	
Fecha:	Nombre:	Firma:	Fecha:
Proyectó:	Ing. Susi Alicia		2017-01-20
Diseñó:	Dr. Trigueros Javier		2017-04-24
Revisó:	Ing. Excoeur M.		2017-06-02
Aprobó:	Ing. Aquino M.		2017-06-10
Materiales:		Nombre de archivo:	
SEOLYN DISEÑO		EnsamblajeCIAC-01gpr	

**ESPOCH**  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
80	±0.1 [mm]	1:50	

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ Y SU USO ESTÁ SUJETO A LA AUTORIZACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ. SE PROHIBEN SU REPRODUCCIÓN O DISTRIBUCIÓN SIN EL CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.

## ANEXO C: CARACTERÍSTICAS DE UN VEHÍCULO

<b>Tipo de vehículo:</b>		SUV					
<b>Marca:</b>		Chevrolet					
<b>Modelo:</b>		Gran Vitara SZ					
<b>Mediciones 1</b>				<b>Mediciones 2</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Nivel de ruido (db)</b>		<b>Elemento</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Nivel de ruido (db)</b>	
Múltiple de escape	800	74.8	(db)	Múltiple	2800	85	(db)
Catalizador	800	73.7	(db)	Catalizador	2800	83.1	(db)
sección media del escape	800	80	(db)	sección media del escape	2800	82.9	(db)
silenciador	800	80.3	(db)	silenciador	2800	79.1	(db)
Boca de salida	800	90.4	(db)	Boca de salida	2800	78.7	(db)
Múltiple	1800	94.1	(db)				
Catalizador	1800	93.4	(db)				
	1800	90.2	(db)				
silenciador	1800	85.8	(db)				
Boca de salida	1800	84.2	(db)				
<b>Observaciones</b>	No existe novedades						
<b>Información del Vehículo Interno</b>							
<b>Fecha de emisión:</b>		19/02/2024					
<b>Tipo de vehículo:</b>		SUV					
<b>Marca:</b>		Chevrolet					
<b>Modelo:</b>		Gran Vitara SZ					
<b>Mediciones Ventanas abiertas 1</b>				<b>Mediciones 2 Ventanas Cerradas</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Nivel de ruido (db)</b>		<b>Elemento</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Nivel de ruido (db)</b>	
<i>Ventanas Abiertas Posterior</i>	800	78.4	(db)	<i>Ventanas Cerradas Frontal</i>	800	71.7	(db)
	1800	81.3	(db)		1800	79.2	(db)
	2800	82.4	(db)		2800	76.8	(db)
<b>Mediciones ventanas abiertas 1</b>				<b>Mediciones 2 Ventanas Cerradas</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Nivel de ruido (db)</b>		<b>Elemento</b>	<b>Revoluciones</b>	<b>Nivel de ruido (db)</b>	
<i>Ventanas Abiertas Superior</i>	800	76	(db)	<i>Ventanas Cerradas Pasajeros</i>	800	72.5	(db)
	1800	77.6	(db)		1800	71.9	(db)
	2800	78.7	(db)		2800	81.1	(db)
<b>Observaciones</b>	No existe novedades						

**ANEXO D: TOMA DE MEDIDAS DEL SISTEMA DE GASES DE ESCAPE**



**ANEXO E: UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ESCAPE**





**ANEXO F: TOMA DE MEDIDAS CON EL SONÓMETRO DEL MÚLTIPLE DE ESCAPE**



**ANEXO G: TOMA DE MEDIDAS DE RUIDO DEL VEHÍCULO PARTE INTERIOR**



**ANEXO H: TOMA DE MEDIDAS PARTE MEDIA DEL SISTEMA DE ESCAPE**



**ANEXO I: VERIFICACIÓN DE MEDIDAS EN EL SISTEMA**







**ANEXO J: VERIFICACIÓN DE RUGOSIDAD DEL TUBO DE ESCAPE**





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 01/08/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Bryan Ismael Caiza Arroyo/ Edgar David Salazar Tiban
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Mecánica
<b>Carrera:</b> Ingeniería Automotriz
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Automotriz
 <b>Edwin Rodolfo Pozo Safla</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>
 <b>Juan Carlos Quinchuela Paucar</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>



